



EESTI MAAÜLIKOOL

Tehnikainstituut

Viljar Soots

**BIOKÜTUSED EESTI VABARIIGI TURUL FOSSILSETE
KÜTUSTE SEGUDES**

BIOFUELS ON THE ESTONIAN MARKET IN MIXTURES OF
FOSSIL FUELS

Bakalaureusetöö

Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Kaie Ritslaid, *MSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		LÜHIKOKKUVÕTE	
Autor: Viljar Soots		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Biokütused Eesti Vabariigi turul fossiilsete kütuste segudes			
Lehekülgi: 86	Jooniseid: 7	Tabeleid: 16	Lisasid: 8
Osakond: Biomajandustehnoloogiate õppetool ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4.14. T370 Juhendaja: lektor Kaie Ritslaid, MSc Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2019			
<p>Bakalaureusetöö eesmärgiks on kirjanduse ülevaates tuua välja kõik Eesti Vabariigis müügil olevad biokütuste segud fossiilsete kütustega ja analüüsida erinevate biokomponentide sisaldusega diislikütuseid. Vedelikütuse seaduse 1. aprilli 2019 redaktsiooni järgi peab diislikütuse koguernergias biokütuse osakaal olema min 6,4% ja 2. põlvkonna biokütuse osakaal peab olema min 0,5% ja 1. põlvkonna biokütuse osakaal lähtub 2.põlvkonna biokütuse tootmise toorme saamisviisist, kuid mitte üle 7 mahu% B7 puhul.</p> <p>Enne katsetuste teostamist arvutati Majandus- ja taristuministri 27.04.2018 määruse nr 21 „Koguernergia arutamise meetod ning kütuse ja biokütuse energiasisaldus“ ning selle Lisa „Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldus“ järgi kokku segatavate komponentide mahu%id kogu energiamahust lähtuvalt. Töö teostamisel olid katsekütuseks 2. põlvkonna vesinikuga töödeldud taimeõli (HVO- <i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>) ja 1. põlvkonna biokütuseks biodiisel FAME (<i>Fatty Acid Methyl Esters</i>). Fossiilsete kütustena kasutati EVS- EN 590:2013 nõuetele vastavat ilma lisandita NESTE firmast saadud diislikütust ja GOST 32511-2013 nõuetele vastavat ökoloogilist diislikütust K5 (väävlisisaldusega kuni 10 mg/kg). Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi kütuselaboris viidi läbi koostatud biokütuste segude katsetused. Kütuselaboris vaadeldi kütuste välimust, mõõdeti tihedus, destillatsioonikarakteristikud, kinemaatiline viskoossus, leekpunkt, hägustumispunkt, korrosiivsus vaskplaadikatsel ja veesisaldus ning arvutati tsetaaniindeks. Põhitähelepanu oli pööratud segu tihedusele, sest HVO mahu% on piiratud selle tõttu, et segu tihedus langeb madalamale kui alumine lubatud minimaalne tiheduse väärtus (suvisel diislikütusel min 820 kg/m³). Biokütuste segud jäid katsetuste põhjal vastama Standardi EVS-EN 590:2013+NA2017 suvediidislikütustele esitatud nõuetele, kuid biokomponenti HVO sisaldavad diislikütuste kvaliteedinäitajad on paremad kui fossiilsel diislikütusel. Katsetulemused kinnitasid, et HVO biokomponenti sisaldavad diislikütused on madalama keemistemperatuuri lõpuga, sest nad sisaldavad kergemaid süsivesinike fraktsioone, mis tagavad kütuse täielikuma põlemise, hoiavad ära setete tekke mootoris ning kindlustavad mootori sujuvama töö. Ka külmakindlus on HVO biokomponentidega kütusel parem. HVO segudes jäi problemaatiliseks nõuetele mittevastavaks üksnes tihedus. Vastavalt standardile EVS-EN 15490:2018 on parafiinsete diislikütuste lubatud klass A tiheduste vahemikuks talvistele ja suvistele diislikütustele vastavalt (765,0-800,0) kg/m³ ja (780,0-810,0) kg/m³ . Majandus- ja taristuministri ja Keskkonnaministri määrus parafiinsete diislikütuste Standardi rakendamiseks seni puudub ning vastavate näitajatega diislikütuse segusid ja puhast HVO seni turule müügiks ei ole lubatud.</p> <p>Töö lõpuosas on toodud diislikütuse hinna kalkulatsioonid lähtuvalt biokütuste sisaldusest.</p>			
Märksõnad: diislikütus, HVO, biodiisel, FAME			



Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		ABSTRACT	
Author: Viljar Soots		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Biofuels on the Estonian market in mixtures of fossil fuels			
Pages: 86	Figures: 7	Tables: 16	Appendixes: 8
Department: Chair of Biosystems Engineering Field of research and (CERC S) code: 4.14. T370 Supervisors: lecturer Kaie Ritslaid, MSc Place and date: Tartu 2019			
<p>The aim of the Bachelor's thesis is to present all biofuels sold in the Republic of Estonia in the literature review blends with fossil fuels and analyze diesel fuels with different bio-components. Liquid fuel According to the Act of 1 April 2019, the share of biofuel in the total energy of diesel fuel must be min. 6.4% and 2. generation of biofuels must be at least 0.5%, and the share of first-generation biofuels should be \ t how to produce biofuel feedstock, but not more than 7 vol% for B7.</p> <p>Prior to performing the tests, the Minister of Economic Affairs and Infrastructure Regulation No. 21 of 27 April 2018 "Total Energy and the fuel content of fuel and biofuels "and its Annex" Fuel used in transport energy content 'according to the total energy volume of the components to be mixed.</p> <p>In the work, the test fuel was the 2nd generation hydrogen treated vegetable oil (HVO- Hydrotreated Vegetable Oil) and 1st generation biofuel for FAME (Fatty Acid Methyl Esters). Fossil fuels were EVS- EN 590: 2013 Diesel and GOST 32511-2013 from NESTE without additives corresponding ecological diesel fuel K5 (sulfur content up to 10 mg/kg). Estonian University of Life Sciences Institute of Technology a test of biofuel blends was carried out in the fuel laboratory. The fuel lab looked at the appearance of the fuels, measured density, distillation characteristics, kinematic viscosity, flash point, cloud point, corrosivity in copper plate test and water content, and cetane index was calculated. The main focus was on the mixture density because the % volume of HVO is limited due to the lower density of the mixture than the lower tolerance minimum density value (min. 820 kg / m³ for summer diesel). The biofuel blends remained on the basis of tests according to the standard EVS-EN 590: 2013 + NA2017 but the quality of diesel fuels containing the bio-component HVO is better than that of fossil fuels diesel. The test results confirmed that the diesel fuels containing the HVO bio-component are lower the end of the boiling point because they contain lighter hydrocarbon fractions that provide fuel complete combustion, prevent sedimentation in the engine and ensure smoother operation of the engine. Also frost resistance is better with HVO bio-component fuel. HVO mixtures remained problematic only the density is inadequate. According to standard EVS-EN 15490: 2018 paraffinic diesel fuels are permitted Class A Density Range for Winter and Summer Diesel (765.0-800.0) kg/m³ and (780.0-810.0) respectively kg/m³. Regulation of the Minister for Economic Affairs and Infrastructure and the Minister of the Environment on the Standard for Paraffin Diesel so far, there are no diesel fuel mixtures and pure HVO so far for sale not allowed.</p> <p>At the end of the work, diesel fuel price estimates are based on the biofuel content.</p>			
Märksõnad: Diesel fuel, HVO, biodiesel, FAME			

Sisukord

LÜHIKOKKUVÕTE	2
SISSEJUHATUS	7
1. BIOKÜTUSED JA NENDE TÖÖTLEMINE MOOTORITUSTEKS JA KÜTTEÕLIDEKS	9
1.1 Biokütuste definitsioon, üdisloomustus ja liigitamine	9
1.2 Etanoolkütused	11
1.2.1 Biokomponendid mootoribensiinis, ottomootoritega sõidukitele	11
1.2.2 Kompressioonmootoritega sõidukitele	13
1.3 Biodiisel mootorikütuseks ja kütteõliks	13
1.4 HVO - vesinikuga töödeldud taimeõli (<i>Hydrotreated Vegetable Oil</i>)	14
1.5 <i>Fischer-Tropsch Biomass to Liquid</i> (BTL) biokütused.....	14
2. SEADUSANDLUS JA EESTI TURULE LUBATUD BIOKÜTUSED JA NENDE SEGUD FOSIILSETE KÜTUSTEGA	16
2.1 Vedelikütuse seadus.....	16
2.2 Koguerurgia arvutamise määrus.....	16
2.3 Standard Autobensiinile EVS – EN 228 E10, E5 ja plii- ja väävlivaba bensiin...	17
2.4 Standard bioetanool E85 CEN/TS 15293	21
2.5 Standard etanool bensiini segukomponendina EVS-EN 15376	22
2.6 Standard diislikütusele EVS-EN 590 B7 ja B10	23
2.6.1 Neste ProDiesel	25
2.7 Standard Biodiislikütusele ja kütteõlile EVS-EN 14214.....	26
3. EKSPERIMENTAALNE OSA	28
3.1 Kütusesegude arvutused	28
3.2 NESTE DK, GOST DK ja segude laboratoorsed katsetused	31
3.2.1 Välimuse hindamine	31
3.2.2 Tiheduse mõõtmine	33
3.2.3 Destillatsioonikarakteristikud	35

3.2.4 Kinemaatiline viskoossus 40 °C juures	37
3.2.5 Leekpunkt	38
3.2.6 Hügustumispunkt	38
3.2.7 Korrosiivne toime Cu-plaadikatsel	39
3.2.8 Tsetaaniindeksi arvutamine	39
3.2.9 Veesisaldus Karl Fischer tiitrimisega	40
3.3 Katsetulemuste arutelu	42
3.4 Hinnakujunemine	45
3.4.1 Töös kasutatud segude hinna analüüs.....	46
3.4.2 Taimeõlist toodetud HVO kasutamise hinna analüüs.....	50
3.4.3 Jääkidest toodetud HVO kasutamisel tekkiv hinna analüüs.....	55
KOKKUVÖTE	62
SUMMARY	65
KASUTATUD KIRJANDUS	68
LISAD	72
Lisa A. Kõrge oktaaniarvuga pliivabale mootoribensiinile maksimaalse hapnikusisaldusega 3,7% esitatud nõuded.....	73
Lisa B 3 Kõrge oktaaniarvuga pliivabale mootoribensiinile maksimaalse hapnikusisaldusega 2,7% esitatud nõuded.....	74
Lisa C. Lenduvusklassid bensiinile	75
Lisa D. Diislikütuse üldnõuded	76
Lisa E Katsetulemuste koondtabel	78
Lisa F GOST DK K5 ökoloogiline näitajad	81
Lisa G Analiit GOST katseprotokoll	86
Lisa H. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	87

LÜHENDID JA TÄHISED

B7 – diislikütus, mis sisaldab biodiislit kuni 7 mahu%

B10 – diislikütus, mis sisaldab biodiislit kuni 10 mahu%

BTL – *Biomass to Liquid*, biomass süsivesinikeks

E5 – autobensiin, mis sisaldab etanooli max 5 mahu%

E10 – autobensiin, mis sisaldab etanooli max 10 mahu%

FAME – *Fatty Acid Methyl Esters*, rasvhapete metüülestrid, biodiisel

HVO – *Hydrotreated Vegetable Oil*, vesinikuga töödeldud taimeõli

WWFC – *Worldwide Fuel Charter* – Ülemaailmne Kütuseharta – Euroopa, USA ja Aasia riikide autotootjate allkirjastatud kokkulepe kütuse kvaliteedinõuete kohta

ProDiesel – Neste Oy s toodetud diislikütus, mis sisaldab kuni 20% HVO

SISSEJUHATUS

Transpordisektori sõltuvust imporditud fossiilsetest kütustest saab vähendada üksnes taastuvatest energiaallikatest toodetud biokütuste kasutamise suurendamisega, mis tõstab samaaegselt energia varustuskindlust ja muudab kütusekasutamise keskkonnahoidlikumaks.

Vastavalt Euroopa Liidu direktiivile 2009/28/EÜ on kehtinud biokütuste lisamise nõue fossiilsetele kütustele juba aastaid [1]. Aastani 2017 oli Eesti Euroopa Liidus viimane riik, kes biokütuste lisamist ei nõudnud.

Biokütus on biomassist toodetud vedel- või gaaskütus, mis pidi Vedelkütuse seaduse 1. mai 2018 redaktsiooni järgi fossiilses mootorikütuses sisaldama koguenergiast lähtuvalt 3,1% biokütust, kusjuures 1. põlvkonna biodiislimaht ei tohtinud olla üle 7 mahu% [2]. Kütusefirmad alustasidki bensiini ja diislikütuse müüki nii, et biokütus moodustus vähemalt 3,1% energiasisalduse järgi. Eestis toimub üleminek suurema biokütuse sisaldusega kütusele astmeliselt: 1. aprillist 2019 sisaldab juba kütus 6,4% ja 1. jaanuarist 2020-10% energiasisalduse järgi. [2]

Alates 1. aprillist 2019 Eestis müüdava diislikütuse kütuseenergiast on biokütuseid 6,4% ja 2. põlvkonna biokütuse (HVO-Hydrotreated Vegetable Oil) või Fischer- Tropsch biomassist sünteesil saadud puhtad süsivesinikud BTL (*Biomass to Liquid*) osakaal on min 0,5% energia järgi. Tegelikult võib teda olla 0,25% energia järgi, sest EL direktiiv võimaldab 2. põlvkonna biokütustel energiasisaldust kahekordsena arvesse võtta, kui biokütuse toore on biomassi jääkproduktid või heitmed. (Direktiivi viide). Seega 1. põlvkonna biokütuse sisalduseks fossiilses diislikütuses jääb $6,4\% - 0,5\% = 5,9\%$. Juhul, kui 2. põlvkonna biokütuse tootmise toore on toiduaine (nt palmiõli), siis peab tema osakaal fossiilses kütuses olema min 0,5% energia järgi.

Töö teostamisel olid katsekütusteks 2. põlvkonna biokütus HVO vesinikuga töödeldud taimeõli EVS-EN 15940:2016 [3] nõuetele vastav taimeõli (HVO- *Hydrotreated Vegetable Oil*) ja 1. põlvkonna biokütus EVS-EN 14214:2012+A1:2014/AC:2014 [4] nõuetele vastav biodiisel FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*). Biokomponendid lisati Neste EVS-EN 590:2013+ A:2017 [5] nõuetele vastavale diislikütusele ja Vene Föderatsioonist ostetud GOST 3211-2013 K5 ökoloogilise nõuetele vastavale diislikütusele.

Bakalaureuse töö lähtub teise ja esimese põlvkonna biokütuste energiasisaldusele esitatud nõuetest fossiilses diislikütuses. Töös arvutatakse alustuseks segude koostised, valmistatakse segud ja kontrollitakse katsetustega biokütuste segude kvaliteedinõuete vastavust standardites esitatud nõuetele.

Töö koosneb neljast peatükist. Esimeses peatükis tuuakse ära biokütuse mõiste ja biokütuste saamise tehnoloogiad nii sädesüütega kui kompressioonsüütega mootoritele.

Teises peatükis- seadusandlusest ja Eesti Vabariigis turule lubatud biokütused ja nende segud fossiilsete kütustega.

Kolmas peatükk on eksperimentaalne osa, milles esitatakse biokütuste segude koostise arvutused lähtuvalt vedelkütuse seaduse normidest. Kirjeldatakse segude valmistamist diislikütustega. Teostatakse katsetused valmistatud segudele, koostatakse kokkuvõtvad tabelid, esitatakse katsetulemuste analüüs ja tehakse ka hinnakujunemise analüüs.

Töö lõpus on kokkuvõtte ja on esitatud Lisad.

1. BIOKÜTUSED JA NENDE TÖÖTLEMINE MOOTORITUSTEKS JA KÜTTEÕLIDEKS

1.1 Biokütuste definitsioon, üdiseloomustus ja liigitamine

Eesti Vabariigi energiaseaduse käsitluses nimetatakse biokütusteks põllukultuuridest valmistatud biomass, metsatööstuses tekkiv puitmass, energiaallikana kasutatav prügi ning põllumajandus jääkidest toodetav biogaas ja ka prügila gaas [6].

Biokütus on organismide elutegevuse tulemusel tekkinud ning taastuvuse piires otseselt kütusena kasutatav või kütuseks töödeldud (vääristatud) tahke, vedel või gaasiline aine [7]. Biokütusteks on biometüülterbutüüleeter (MTBE), biometanool ja bioetanool, biodimetüüleeter (ETBE), hüdrogeenitud taimeõli (HVO), biodiislikütus (FAME), biogaas, biovesinik, puidust toodetud tahked kütused (hakkpuit, puitbrikett, pelletid). Samamoodi loetakse biokütusteks ka hoonete kütmiseks kasutatav orgaaniline materjal (sõnnik, põhk, turvas, olme-ja tööstusjäätmel), mille lagunemisel tekib soojust. Biokütuste põletamisel tekkivat süsinikdioksiidi kliimamuutuse põhjustajana ei arvestata, sest kütuse põletamisel eraldub sarnane hulk CO₂ kui taim oma eluea jooksul fotosünteesides ära tarvitas [7].

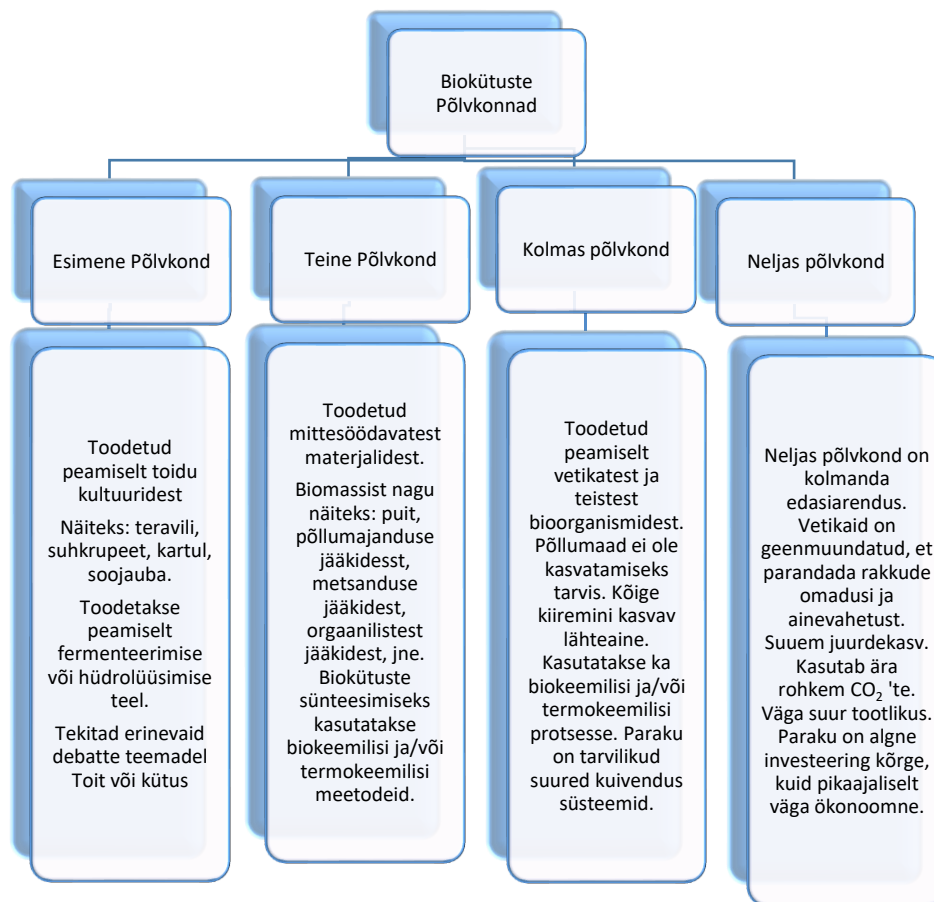
Euroopa parlamendi uurimiskeskuse kohaselt on biomass looduslikul teel tekkinud materjal, mis toodeti elavatest organismidest [7]. Biomass on olnud kasutusel kütusena aegade algusest tule kasutamise algusest saadik.

Põhiliselt saadakse biomassi järgnevatest allikatest ning liigitatakse:

- 1) metsandusest tekkiv puit ja selle jätmed;
- 2) energeetilised põllumajanduslikud kultuurid (raps, mais, jpt);
- 3) põllumajanduskultuuride jäägid (lõhk, pealsed, jpt);
- 4) toidujätmed;
- 5) tootmisprotsessi tööstusjätmed [8].

Biomassi on taastuv energia allikaks, sest see on võimeline mõne aastakümnega taastuma. Hetkel suudab bioenergia rahuldada 10% ülemaailmsest energiavarudest [8].

Biokütuseid liigitatakse primaarseteks ja sekundaarseteks. Primaarsed biokütused on peamiselt kütmiseks ja elektrienergia tootmiseks kasutatavad põlevad peamiselt tahked ja vähe töödeldud materjalid (küttepuid, puiduhake, pelletid jms). Sekundaarseid biokütuseid saadakse juba biomassi töötlemise käigus -näiteks: etanool, biodiislikütus, dimetüüleeter jpt., mida saab kasutada sõidukite kütusena ja erinevates tööstuslikes protsessides. Sekundaarsed biokütused on omakorda jaotatud tootmis tehnoloogia järgi esimeseks, teiseks, kolmandaks ja neljandaks põlvkonnaks (vt. Joonis 1.1). [9]



Joonis:1.1 Biokütuste jagunemine põlvkondadesse

1.2 Etanoolkütused

Bioetanool on peamiselt biomassist või biolagunevast materjalist toodetud etanool, peamiselt kasutatakse seda biokütustes või toiduaine tööstuses. Peamisteks tooraineteks on suhkruroog, mais või teravili. [10]

1.2.1 Biokomponendid mootoribensiinis, ottomootoritega sõidukitele

Biokomponendid mootoribensiinis on rangelt normeeritud, sest hapnikusisaldus kõige tavalisemates biokomponentides, alkoholides ja eetrites piirab nende kasutamist enamikes sõidukites.

Bioetanool

Oktaaniarvu järgi märgistatud E5 või E10 bensiini klassid viitavad maksimaalsele etanoolisisaldusele 5 mahu% või 10 mahu%. Toode ei pruugi sisaldada üldse etanooli, kuna biokomponendiks võib olla ka mõni muu segamiskomponent, nagu eetrid (ETBE, TAEE) või sünteetiline biobensiin (mis aga ei sisalda hapnikku). Kasutaja seisukohast ei ole see siiski otustav tegur, sest mootor töötab tavapäraselt olenemata sellest, kas see sisaldab etanooli või muid lubatud biokomponente. Piirav tegur on hapnikusisaldus kütuses, mis on piiratud 2,7 massi% E5 puhul ja 3,7 massi% E10 puhul [38].

Alates 2012. aastast kehtib bensiinimootoritega sõidukitele kütuse Standard EVS-EN-228:2012. Standard määratleb kaks pliivaba mootoribensiini tüüpi. Esimene on hapnikusisaldusega kuni 3,7 massi% ja etanoolisisaldusega kuni 10,0 mahu%; teine on hapnikusisaldusega kuni 2,7 massi% ja etanoolisisaldusega kuni 5,0 mahu%. Viimane on ette nähtud vanematele sõidukitele, mis ei ole mõeldud kasutama kõrge biokütusesisaldusega pliivaba mootoribensiini.

E10 on kütusesegu, mida võivad kasutada enamused tänapäevaseid autosid.[12] Vanemale sõidukipargile ei ole sobilik. See info on AMTEL kodulehelt kättesaadav [11]. Vanematel sõidukitel on lubatud kasutada ainult E5 kütusesegu etanoolisisaldusega max 5%, mida võivad kasutada ka uuemad sõidukid. See on kõrgeima etanooli sisaldusega segu, mida võib kasutada autodel, millel pole lubatud kasutada E10 segu.[12]

Eetrid (ETBE, TAEE), mis on toodetud bioetanoolist

Kütuse jaoks sobivaid eetreid võib valmistada ka bioetanoolist ja süsivesinikest, et saada osaliselt biopõhist eetrit. Etüül-tert-butüüleeter (ETBE) ja tert-amüülmetüüleeter (TAEE) on kõrge oktaanarvuga oksügenaadid, mida kasutatakse bensiini lisandina. Nende eesmärk on

bensiini põletamise parendamine ja tekitatud heitkoguste vähendamine. ETBE ja TAAE kasutamisega saavutatavad peamised eelised hõlmavad madala väävlisisaldusega ja madala aromaatsete ainete sisaldust, põlemisel tekkiva süsinikdioksiidi ja süsinikmonooksiidi heitkoguste vähendamist ning suurt oktaaniarvu. Kuna eetritel on kõrgem oktaaniarv (suurem detonatsioonikindlus), siis seetõttu on mürgistest pliiühenditest oktaaniarvu tõstjana loobutud. ETBE ja TAAE võib segada kuni 22 mahuprotsenti benssiini vastavalt benssiini standardi EN 228 nõuetele.

Teised benssiini biokomponendid

Lisaks etanoolile ja etanoolist täiendavalt töödeldud eetritele on benssiini sisalduse suurendamiseks ka teisi biokomponente. Benssiini biokomponendid, mis sarnanevad etanooliga kütuse tehniliste näitajate osas, hõlmavad näiteks biobutanooli ja biometanooli ning sellest valmistatud bioeetreid, nagu metüül-tert-butüüleeter (MTBE). Need komponendid on benssiini lisandid, mis ei ole toidutootmise tooraineks. Nende alkoholide ja eetrite kasutamist hapnikku sisaldavate kütustena piiravad ka olemasoleva sõidukipargi kehtestatud piirangud kütuse hapnikusisaldusele.

Lisaks bioalkoholidele ja bioeetritele võib biobenssiini valmistada kaasaegsete naftatöötlemistehastes, mis on ehitatud peamiselt taastuva diislikütuse tootmiseks (HVO, BTL). Toornafta rafineerimistehastes võib osa toornafta asendada biogaaside tootmiseks kasutatavate bioloogiliste toorainetega (nn "koostoit"). Nende meetodite abil toodetud biobenssiin on alkoholi ja eetriga võrreldes tunduvalt suurema energiasisaldusega ning see sobib kasutamiseks olemasolevas sõidukipargis ilma mootori tehniliste piiranguteta. Kombineerides erinevaid hapnikuga küllastunud ja hapnikuga mitteseotud biokomponente, võib taastuenergia osakaal benssiini suurendada isegi rohkem kui 20 protsenti, põhjustamata ühilduvusprobleeme olemasolevas sõidukipargis. Biokomponente sisaldavate fossiilkütuste heitgaasid on vähem keskkonda saastavad kui tavakütused.

E85 on segu 85% etanoolist ja 15% benssiinist. Sellist kütust tohib kasutada ainult spetsiaalselt sellise kütuse jaoks ehitatud või kohandatud autodes. Suurimad selliste autode kasutajad on USA ja Rootsi. Külmaes piirkondades kasutatakse talvisel perioodil natukene suurema benssiini sisaldusega segusid, et ei oleks käivitusel probleeme. USAs on Kasutusel E70 ja Rootsis vastavalt E75 [12].

E100 on kütus millesse ei ole segatud lisandeid. Sellist kütust kasutatakse peamiselt Brasiilias. Kütuses võib leiduda vähesel määral vett aga see on pigem tootmisjääk. Enamik autosid, mis sellist kütust kasutavad omasid topelt süsteemi mootori käivitamiseks, aga alates 2009

aastast on erinevad tootjad suutnud valmistada ka ainult 100% etanoolil töötavaid autosid. Need autod on küll kasutatavad ainult soojas kliimas, madalama temperatuuriga kui 5°C on auto käivitamine juba väga raskendatud [12].

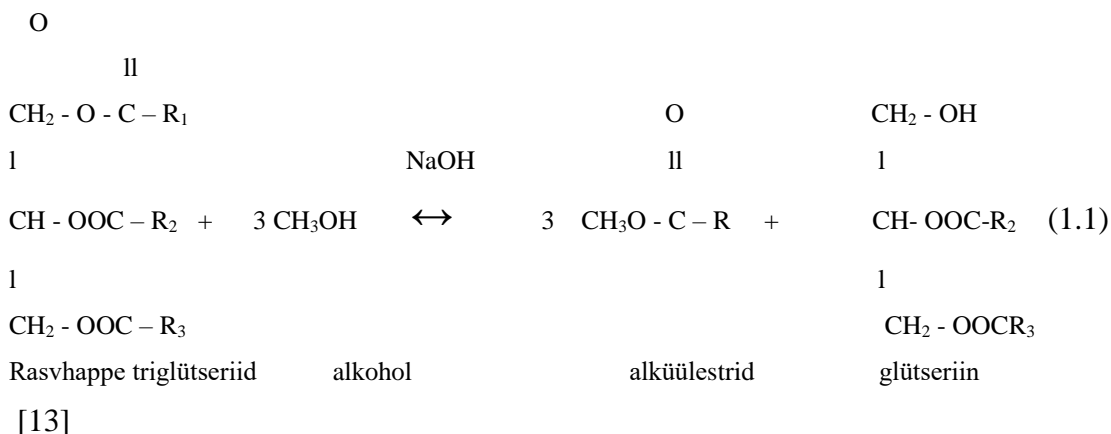
1.2.2 Kompresioonmootoritega sõidukitele

ED95 on kütusesegu mis koosneb 95% etanoolist ja 5% süüteparandajast. Sellist kütust kasutatakse bioetanoolmootorites Kuna etanooli süttimistemperatuur on kõrge, oli hädavajalik lisada kütusele süüteparandajat. Seda süsteemi on Rootsi Scania bussides kasutatud juba alates 1985st aastast [12].

1.3 Biodiisel mootorikütuseks ja kütteõliks

Biodiisli toodetakse peamiselt taimsetest õlidest, (esterdamise teel taimeõlist valmistatud metüülestrid), kasutatud toiduõli ümbertöötlemisest ja ka väheväärtuslikest loomsetest, linnu- ja kalarasvadest. Esterdamise protsessi käigus muutub taimeõli näitajatele sarnaseks naftast valmistatud diislikütusega. Kuna õlikultuure saab korduvalt kasvatada biodiisli valmistamiseks, saab seda kütust nimetada taastuvaks energiaallikaks. Biodiisli eelis fossiilse kütuse ees on tema keskkonna sõbralikkus, sest põlemata süsivesinike, CO ja tahkete põlemisjääkide osakaal langeb. Kuna väävlisisaldus on praktiliselt olematu ja biodiisel ise sisaldab hapnikku, siis selle kütuse põlemisel tekkiv CO₂ hulk on võrdne taimede poolt kasvatamiseks kasutatud CO₂ hulgaga. Seega süsinikdioksiidi sisaldus atmosfääris ei suurene, tekib ainult maakasutuse küsimus [13].

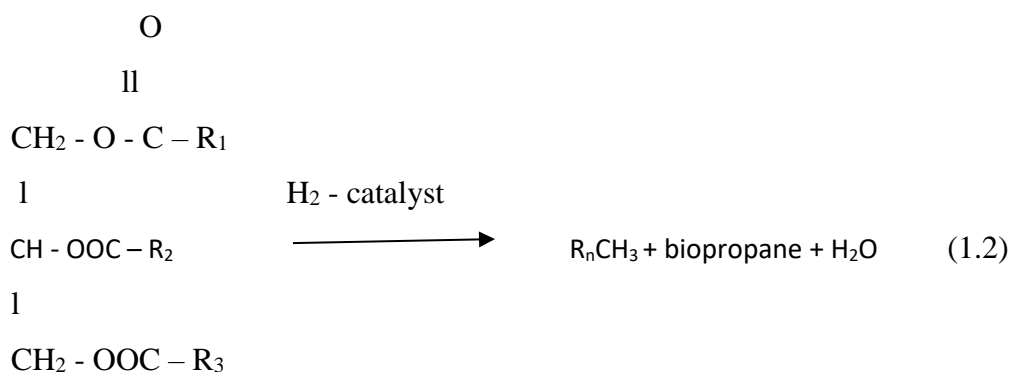
Kõige tavalisem transesterdamine metanooli ja NaOH baasil. See toimub järgmiste reaktsioonide järgi [26]:



1.4 HVO - vesinikuga töödeldud taimeõli (*Hydrotreated Vegetable Oil*)

HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) on NESTE OY poolt välja töötatud maailmas ainulaadse tehnoloogia abil saadud 2. põlvkonna biokütus, mille tooraineks olid algselt taimeõlid, mida vesinikuga töödeldi. Tehnoloogia võimaldab saada väävlivaba, aroomaatika- ja oksügenaatidevaba kütust. Saadakse selge, parafiinne vedelik, mis on hea tsetaaniarvuga, vahemikus 85 – 99, ja biopropan. 100% HVOd kutsutakse NESTE RENEWABLE DIESEL, mis vastab EN 15940:2016 parafiinse diislikütusele esitatud nõuetele.

Biopropani põletatakse tootmisprotsessis soojusenergia saamiseks.



Neste MY Renewable Diesel on tippkvaliteediga diislikütus, mis toodetakse täielikult taastuvatest ja jätkusuutlikest toorainetest, sealhulgas biojäätmetest ning loomsetest ja kana- ning kalarasva jääkidest, samuti kasutatud toiduõlidest ja taimeõlist.

Teaduslikud uuringud ja väliuuringud on näidanud, et 100% -lise *Neste Renewable Dieseli* taastuva diislikütuse kasutamine vähendab märkimisväärselt sõiduki heitmeid võrreldes tavalise väävlivaba diislikütusega. Kütuse plussid [14]: tahkete peenosakeste sisaldus on 33% madalam ja osakeste arv on väiksem;

lämmastikoksiidide (NO_x) sisaldus on 9% madalam;

süsivesinikel (HC) on 30% madalamad;

süsinikmonooksiide (CO) sisaldus on 24% madalam;

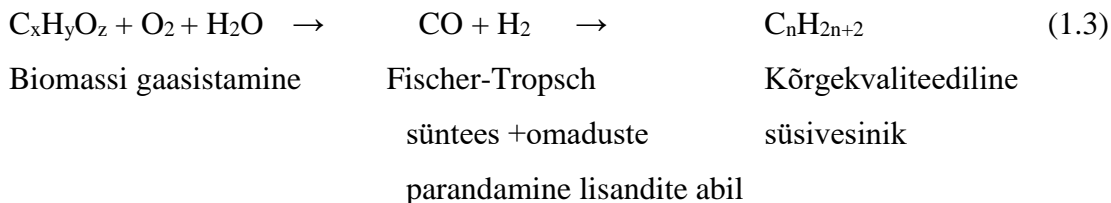
polüaromaatse süsivesinike (PAH) sisaldus on väiksem;

süsivesinike sisaldus (HC) 30% madalam.

1.5 Fischer-Tropsch Biomass to Liquid (BTL) biokütused

Biokütuste 2. põlvkonna tootmise tehnoloogia võimaldab kasutada lähteainena suvalist biomassi.

Biomass to liquid (Biomass süsivesinikeks): Biomassi gaasistamine & Fischer-Tropsch – omaduste parandamine lisandite abil (HDK)



Biomassi gaasistamisel on katalüsaatoriks (Ni). Fischer-Tropschi sünteesi sobiv katalüsaator valitakse sõltuvalt sellest, milliseid süsivesinikke, mis kütuse jaoks tootma hakatakse. *Biomass to liquid* (BTL) biomassi gaasistamisele järgneb Fischer-Tropschi süntees, millega saadakse väga kõrgekvaliteediline kütus (mittejälgitav väävli- ja tuhasisaldus). Katalüsaatoritena kasutatakse tavaliselt Fe või Co.

Reaktiivkütuste tootmise katalüsaatoritena on võimalik kasutada Mo, Ni, V, Co, W, Zn, Pt-rühma metalle (Ru, Pt, Pd). Eelistatult kasutatakse Pt-rühma metalle.

Diislikütuse saamisel Fischer-Tropschi sünteesil kasutatakse tavaliselt katalüsaatorina Fe ja Co.

Tehnoloogia on tänaseks laialdaselt kasutuses ja sellise puhta kütuse kasutuselevõtt parandab hüppeliselt sõidukite heitgaaside puhastamiseks mõeldud katalüsaatorite kestvusaega.

[15]

2. SEADUSANDLUS JA EESTI TURULE LUBATUD BIOKÜTUSED JA NENDE SEGUD FOSIILSETE KÜTUSTEGA

2.1 Vedelkütuse seadus

Eesti Vabariigis reguleerib vedelkütuse kasutamist, käitlemist vedelkütuse seadus. Seaduses on ka sätestatud kvaliteedi tagamise nõuded, käitlemise ja maksustamise reeglid ning vastutuse seaduse rikkumise eest ja järelvalve korraldamise. Kütusteks nimetatakse vedelkütuse seaduse kohaselt: bensiin, lennukibensiin, petrooleum, diislikütus, kerge kütteõli, raske kütteõli, põlevkivi kütteõli, mootorsõidukites kasutatav vedelgaas [16, 2]. Alates 2018 aasta 1.maist jõustus Eestis viimasena Euroopa liidus Biokomponentide sisalduse nõue kütuse koguenergias. Vastavalt Euroopa Liidu nõuetele peab see osakaal olema 1. jaanuarist 2020 10% koguenergiast.

2.2 Koguenergia arvutamise määrus

Vastavalt majandus- ja taristuministri 27.04. 2018 nr 21 määruse „Koguenergia arvutamise meetod

$$B=100(Q_{\text{bio}}/Q_{\text{kütus}}), \quad (2.1)$$

kus

Q_{bio} – paragrahvi 1 kohaselt tarbimisse lubatud biokütuse koguenergia (TJ)

$Q_{\text{kütus}}$ – Paragrahvi 2 järgi arvutatud tarbimisse lubatud bensiini, diislikütuse ja biokütuse koguenergia (TJ).

Kusjuures tuleb arvesse võtta, et kui teise põlvkonna kütus on toodetud jäätmetest võib selle koguse arvesse võtta kahekordselt.[17]

2.3 Standard Autobensiinile EVS – EN 228 E10, E5 ja plii- ja väävlivaba bensiin

Eestis müüdavad bensiinid peavad vastama standardile EVS – EN 228, mis määrab ära nõuded ja katsemeetodid pliivabale bensiinile [18]. Omadustelt on standardis välja toodud RON- ja MON – oktaaniarvud, tihedus 15°C juures, pliisisaldus, ja veel paljude ühendite sisaldus vt. Tabel 2.1.

Uutele sõidukitele E10 kõrge oktaaniarvuga pliivaba mootoribensiin max hapnikusisaldusega 3,7 massi% esitatud kvaliteedinõuded on tabelis 2.1

Tabel 2.1 Kõrge oktaaniarvuga pliivabale mootoribensiinile max hapnikusisaldusega 3,7 massi% esitatud nõuded ja katsemeetodid

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
Oktaaniarv uurimismeetodil, RON		95,0 ²	-	EN ISO 5164
Oktaaniarv mootorimeetodil, MON		85,0 ²	-	EN ISO 5163
Pliisisaldus	mg/l	-	5	EN 237
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m ³	720	775	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Väävlisisaldus	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Mangaanisisaldus	mg/l	-	2,0	
Induktsioonperiood	Min	360	-	EN ISO 7536
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100 ml	-	5	EN ISO 6246
Korrosiivsus vas-kplaadikatsel (3 h temperatuuril 50 °C)	klass 1		klass 1	EN ISO 2160
Välimus		Läbipaistev ja selge		visuaalne vaatlus
Süsivesinike sisaldus - alkeenid - aromaatsed süsivesinikud	mahu %	- -	18,0 35,0	ASTM D 1319
Benseenisisaldus	mahu %	-	1,00	EN 12177 EN 238 EN 14517

Tabeli 2.1 järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
Hapnikusisaldus	massi %	-	3,7	EN 1601 EN 13132
Hapnikuühendite sisaldus	mahu %		3,0	EN 1601 EN 13132
- metanool			10	
- etanool		-	5,0	
- iso-propüülalkohol		-	10,0	
- iso-butüülalkohol		-	10,0	
- tertsiaarne butüülalkohol		-	7,0	
- eetrid (5 ja enama C aatomiga)		-	15,0	
- muud hapnikuühendid		-	10,0	

¹-Nõuded esitatud vedelkütusele Keskkonnaministri 21.06.2013 määrus nr 45ja Standardiga EVS-EN 228:2013+NA:2017

²-Tavalist pliivaba mootoribensiini võib turustada kõige väiksema mootorimeetodil määratud oktaaniarvuga (MON) 81 ja kõige väiksema uurimismeetodil määratud oktaaniarvuga (RON) 91.

Tabelis 2.2 on esitatud kõrgeoktaanilise pliivaba autobensiini kvaliteedinõuded vanematele sõidukitele.

Tabel 2.2. Kõrge oktaaniarvuga pliivaba mootoribensiinile max hapnikusisaldusega 2,7 massi% , vanematele sõidukitele Standardiga EVS-EN 228:2012+ A:2018 esitatavad nõuded ja katsemeetodid.

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
Oktaaniarv uurimismeetodil, RON		95,0 ²	-	EN ISO 5164
Oktaaniarv mootorimeetodil, MON		85,0 ²	-	EN ISO 5163
Pliisisaldus	mg/l	-	5	EN 237
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m ³	720	775	EN ISO 3675 EN ISO 12185

Tabel 2.2 järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
Väävlisisaldus	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Mangaanisisaldus	mg/l	-	2,0	
Induktsioonperiood	Min	360	-	EN ISO 7536
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100 ml	-	5	EN ISO 6246
Korrosiivsus vas- kpladikatsel (3 h temperatuuril 50 °C)	klass 1		klass 1	EN ISO 2160
Välimus		Läbipaistev selge	ja	visuaalne vaatlus
Süsivesinike sisal- dus - alkeenid - aromaatsed süsivesin- ikud	mahu %	- -	18,0 35,0	ASTM D 1319
Benseenisisaldus	mahu %	-	1,00	EN 12177 EN 238 EN 14517
Hapnikusisaldus	massi %	-	2,7	EN 1601 EN 13132
Hapnikuühendite si- saldus - metanool - etanool - iso- propüülalko- hol - isobu- tüülalkohol - tertsiaarne butüülalkohol - eetrid (5 ja enama C aa- tomiga) - muud hap- nikuühendid	mahu %		3,0 5,0 2,7%	EN 1601 EN 13132

Lenduvusnõuded

Selleks, et tagada nii töösooja kui ka külma auto nõutavad sõiduomadused mistahes aastaajal ning kõikides Euroopa geograafilistes piirkondades, on määratletud 10 lenduvusklassi, mis

on esitatud tabelis 2.3. Iga riik peab käesoleva Euroopa standardi rahvuslikus lisas sätestama, millised nende kümne klassi seast valitud lenduvusklasse mingil aastaajal selle riigi mingis piirkonnas rakendatakse.

Eestis on suveperioodil bensiinide lenduvusklassiks klass B, talveperioodil lenduvusklassiks klassid E ja E1. Eestis peab olema müügil talvine kütus (E, E1) 1. detsembrist kuni 1. märtsini. 1. mai -30. sept. suveperiood ja müügil on siis suvine kütus. Üleminekuperioodidel 1.okt.-30. nov. ja 1. märts-30. aprill on lubatud müüa B, E ja E₁ kütust.

Tabel 2.3 Lenduvusklassid max hapnikusisaldusega 3,7 massi%

Näitaja	Mõõtühik	Nõue						Katsemeetod
		klass A	klass B	klass C/C1	klass D/D1	klass E/E1	klass F/F1	
Aururõhk(VP)	kPa, min	45,0	45,0	50,0	60,0	65,0	70,0	EN 13016-1
	kPa, max	60,0	70,0	80,0	90,0	95,0	100,0	
Temperatuuril 70 °C aurustunud osa, E70	Mahu %, min	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	EN ISO 3405
	Mahu %, max	48,0	48,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
Temperatuuril 100 °C aurustunud osa, E100	mahu %, min	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	EN ISO 3405
	mahu%, max	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	72,0	
Temperatuuril 150 °C aurustunud osa, E150	mahu %, min	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	EN ISO 3405
Keemise lõpptemperatuur	°C, max	210	210	210	210	210	210	EN ISO 3405
Destillatsioonijääk	Mahu %, max	2	2	2	2	2	2	EN ISO 3405
Aurulukuindeks (10VP+ 7 E70)	indeks, max	-	-	C	D	E	F	
Aurulukuindeks (10VP+ 7 E70)	indeks, max			C1	D1	E1	F1	
				1050	1150	1200	1250	

*-Nõuded vedelkütustele esitatud Majandus-ja kommunikatsiooniministri 17.03.2010.a. määrusega nr.16, redaktsioon 26.07.2013 ja Standardiga EVS-EN 228:2013+NA:2018

Tabel 2.4 Lenduvusklassid max hapnikusisaldusega 2,7 massi%

Näitaja	Mõõtühik	Nõue						Katsemeetod
		klass A	klass B	klass C/C1	klass D/D1	klass E/E1	klass F/F1	
Aururõhk(VP)	kPa, min	45,0	45,0	50,0	60,0	65,0	70,0	EN 13016-1
	kPa, max	60,0	70,0	80,0	90,0	95,0	100,0	
Temperatuuril 70 °C aurustunud osa, E70	Mahu %, min	20,0	20,0	22,0	22,0	22,0	22,0	EN ISO 3405
	Mahu %, max	48,0	48,0	50,0	50,0	50,0	50,0	
Temperatuuril 100 °C aurustunud osa, E100	mahu %, min	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	46,0	EN ISO 3405
	mahu%, max	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	71,0	

Tabel 2.4 järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue						Katsemeetod
		klass A	klass B	klass C/C1	klass D/D1	klass E/E1	klass F/F1	
Temperatuuril 150 °C aurustunud osa, E150	mahu %, min	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	EN ISO 3405
Keemise lõpptemperatuur	oC, max	210	210	210	210	210	210	EN ISO 3405
Destillatsioonijääk	Mahu %, max	2	2	2	2	2	2	EN ISO 3405
Aurulukuindeks (10VP+ 7 E70)	indeks, max	-	-	C	D	E	F	
Aurulukuindeks (10VP+ 7 E70)	indeks, max	1250		C1 1050	D1 1150	E1 1200	F1	

*-Nõuded vedelkütustele esitatud Majandus-ja kommunikatsiooniministri 17.03.2010.a.määrusega nr.16, redaktsioon 26.07.2013 ja Standardiga EVS-EN 590+NA:2018.

Plii- ja väävlivaba tavabensiin

Plii- ja väävlivaba tavabensiinile esitavad nõuded Standardiga EVS- EN 228:2012 sarnased kõrgeoktaanilisele plii- ja väävlivaba bensiiga, välja arvatud oktaaniarvud, mis on: Oktaaniarv mootorimeetodil, MON, ei tohi olla madalam kui 81,0 ja oktaaniarv uurimismeetodil, RON, ei tohi olla madalam kui 91,0.

2.4 Standard bioetanool E85 CEN/TS 15293

Standard CEN/TS 15293 määrab ära bioetanool E85. kehtivad nõuded.

Etanool E85- (FUEL ETHANOL- Standard ASTM D 4806- Standard Specification for Denatured Fuel Ethanol for blending with Gasoline for use as Automotive Spark Ignitation Engine Fuel).

Modifitseeritud mootoritega (FLEXi FUEL- paindliku kütuse kasutusega) sõidukites on lubatud tankida etanoolkütust E85 (85 mahu% bioetanooli ja 15% autobensiini) ning selle kütuse kvaliteedinäitajad on määratud standardiga ASTM D 5798:2017. On turule lubatud, aga reaalselt praegu müügis ei ole, sest Eestis puuduvad sõidukid, mis võiksid tankida E85.

[19] Tabel 2.5

Tabel 2.5 Bioetanool E85 esitatavad nõuded

Bioetanool E85 nõuded			
Näitaja	Mõõtühik	Väärtus	
		Min	Max
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	760	800
Oksüdatsioonistabiilsus	min	360	
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100 ml		5,0
Korrosiivsus vaskplaadil (3h temperatuuril 50°C)	klass	Klass 1	
Üldhappesus	massi%		0,005
Metanoolisisaldus	massi%		1,0
Kõrgemate (C3-C5) küllastunud monoalkoholide sisaldus	massi%		6,0
Eetrite sisaldus	massi%		11,0
Veesisaldus	massi%		0,400
Anorgaaniliste kloriidide sisaldus	mg/kg		1,2
Vasesisaldus	mg/kg		0,10
Fosforisisaldus	mg/l		0,15
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0
Sulfaadisisaldus	mg/kg		4,0

2.5 Standard etanool bensiini segukomponendina EVS-EN 15376

Bensiinile lisatava etanoolile on eraldi välja töötatud nõuded ja katsemeetodid. Paljud neist on toiduaine tööstuse omadest karmimad. Neid nõudeid muudetakse suhteliselt sageli. Nõuded on välja toodud tabelis 2.6. [20]

Tabel 2.6 Etanool mootoribensiini segukomponendina

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Etanooli ja kõrgemate küllastunud alkoholide sisaldus	massi%	98,7	-
Kõrgemate (C3-C5) küllastunud monoalkoholide sisaldus	massi%		2,0

Tabeli 2.6 järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Metanoolisisaldus	massi%		1,0
Veesisaldus	massi%		0,300
Üldhappesus (esitatakse äädikhappena)	massi%		0,007
Elektrijuhtivus	μS/cm		2,5
Välimus		selge ja värvitu	
Anorgaaniliste kloriidide sisaldus	mg/kg		6,0
Sulfaadisaldus	mg/kg		4,0
Vasesisaldus	mg/kg		0,100
Fosforisisaldus	mg/l		0,15
Mittelenduva materjali sisaldus	mg/100 ml		10
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0

2.6 Standard diislikütusele EVS-EN 590 B7 ja B10

B7 on diislikütus, mis võib sisaldada biodiislit FAME max 7 mahu% ja B10 on diislikütus, mis võib sisaldada 10 mahu% FAMEt. B10 on lubatud kasutada ainult uuemates sõidukites, mille kasutamise luba on antud sõiduki valmistatud tootjatehase käsiraamatus.

Diislikütus sisaldab koguenergias min biokomponenti 6,4 % , millest 2.põlvkonna HVO sisaldus on min 0,5% ja 1. põlvkonna biodiisli (FAME) sisaldus on 6,4% - 0,5% = 5,9% energiasisalduse järgi. See vastab Biodiislikütuse mahulisele sisaldusele 7%.

Mõlemad kütused jäävad vastama diislikütusele esitatud kvaliteedinõuetele. Tabelis 2.7, tabelis 2.8 ja tabelis 2.9 on üldnõuded ja katsemeetodid nii suvisele kui talvisele meie kliimasse sobivaks kasutamiseks diislikütusele.

Tabel 2.7 Üldnõuded ja katsemeetodid diislikütustele suvine standardi EVS-EN 590:2013 + NA:2018 järgi

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
Tsetaaniarv		51,0	-	EN ISO 5165 EN ISO 15195
Tsetaaniindesks		46,0	-	EN ISO 4264
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Väävlisisaldus	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike sisaldus	massi%	-	8	EN 12916
Leekpunkt	°C	üle 55	-	EN ISO 2719

Tabel 2.7 järg

Näitaja	Mõõtühik	Nõue ¹		Katsemeetod
		min	max	
10 % destillatsioonijäägi koksiarv	massi%	-	0,30	EN ISO 10370
Korroosiivsus vaskplaadikatsel (3 h temperatuuril 50 °C)		klass1		EN ISO 2160
Tuhasisaldus	massi%	-	0,01	EN ISO 6245
Veesisaldus	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Tahkete osiste sisaldus	mg/kg	-	24	EN 12662
Oksüdatsiooniline stabiilsus	g/m ³	25		EN ISO 12205 EN 15751*
Määrimisvõime, korrigeeritud kulumisjälje diame-ter(wsd 1,4) temperatuuril 60 oC	µm	-	460	ISO 12156-1
Viskoossus temperatuuril 40 oC	mm ² /s	2,00	4,5	EN ISO 3104
Destillatsioonikarakteristikud Destilleerub 250 °C juure Destilleerub 350 °C juures 95 mahu% destilleerub tem- peratuuril	mahu% mahu% °C	65 85 max	< 360	EN ISO 3405
Rasvhapete metüülestrite (FAME) sisaldus	mahu%	- 7	max	EN 14078
Mangaani sisaldus	mg/l	max 2		EN 16136

1-Nõuded vedelkütustele esitatud Standardiga EVS-EN 590:2013+A:2018

*- täiendav nõue D, mis sisaldab üle 2% FAMEt. Standardiga EVS-EN590:2013

**- täiendav nõue, kui diislikütus sisaldab üle 2% FAMEt.

Kliimatingimustest olenevad nõuded on toodud standardis EVS-EN 590 selleks, et võimaldada eri riikidel valida neile sobivaid aastaegadele vastavaid kütuseid. Valitud on mõõduka kliima jaoks kuus erinevat CFPP (külmfiltril ummistumispunkti) marki ja arktilise või karmi kliima jaoks viis erinevat klassi. Kliimast olenevad nõuded ja neile vastavad katsemeetodid on esitatud alljärgnevas tabelis:

Tabel 2.8 Mõõdukas kliima (suve normid)

Näitaja	Mõõt- ühik	Klass A	Klass B	Klass C	Klass D	Klass E	Klass F	Katsemeetod
CFPP	°C, max	+5	0	-5	-10	-15	-20	EN 116

Tabel 2.9 Arktiline või põhjamaade kliima (talve normid)

Näitaja	Mõõtühik	Klass 0	Klass 1	Klass 2	Klass 3	Klass 4	Katsemeetod
CFPP	°C, max	-20	-26	-32	-38	-44	EN 116
Hägustumispunkt	°C, max	-10	-16	-22	-28	-34	EN 23015
Tihedus temperatuuril 15 °C	kg/m ³ ,min kg/m ³ ,max	800 845	800 845	800 840	800 840	800 840	EN ISO 3675 EN ISO12185
Viskoossus temperatuuril 40 °C	mm ² /s, min mm ² /s, min	1,50 4,00	1,5 4,00	1,5 400	1,40 4,00	1,20 4,00	EN ISO 3104
Tsetaaniarv	Min	49,0	49,0	48,0	47,0	47,0	EN ISO5165
Tsetaaniindeks	Min	46,0	46,0	46,0	43,0	43,0	EN ISO 4264
Destillatsioonikarakteristikud Destilleerub 180 °C juures Destilleerub 340 °C juures	mahu%,max mahu%,min	10 95	10 95	10 95	10 95	10 95	EN ISO 3405

2.6.1 Neste ProDiesel

Neste ProDiesel on taastuvat biokomponenti sisaldav kütus. Neste ProDiesel maailmas kõige keskkonnasõbralikum diislikütus, mis sisaldab kuni 20% teise põlvkonna biokomponenti HVO, mis vastab kõigi näitajate osas EVS-EN 590:2013+NA:2017 nõuetele [27]. Parafiinne kütus HVO on CEN (*European Committee for Standardization*) on heaks kiidetud standardiga EN 15940:2016+ A1: 2018.

Neste Oil müüb Neste ProDiesel™ Soomes, Leedus, Lätis, Eestis ja Peterburis, milles on kuni 20% HVO.

Neste ProDiesel on maailmas esimene ja seni ainus kütus, mis vastab ülemaailmse kütuseharta rangeima, 5. kategooria nõuetele. ProDiesel on tõestatud maailma parim. [27]

Neste ProDiesel on oma omadustelt parim diislikütus ning ta sobib kõikidele diiselmootoriga sõidukitele olenemata nende tootmisaastast. Seda tohib segada ka talvise diislikütusega.

Neste ProDiesel eelised [27]

Kuni 5% väiksem kütusekulu;

Kuni 4% suurem mootori võimsus. Võrreldes tavalise diislikütusega, parandab Neste Pro Diesel sõiduki võimsust ja pöördemomenti keskmiselt 2%, mõne konfiguratsiooni puhul isegi kuni 4%;

Külmakindlus kuni -37 °C. Talvisel Neste ProDiisli kütusel (hägustumistemperatuur -32 °C ja külmfiltri ummistuspunkt (CFPP) -37 °C) on suurepärased külmakindluse näitajad tagamaks talvise töökindluse. Traditsioonilise diislikütuse puhul on need näitajad (hägustumistemperatuur min -16 °C ja külmfiltri ummistuspunkt min (CFPP) -22 °C). Kütuse suurem tsetaaniarv parandab seega ka mootori käivitamist külma ilmaga;

Kuni 20% väiksem CO₂ kogus. Külma mootoriga sõidu alustamisel vähendab Neste ProDieseli suurem tsetaaniarv väljaheitegaasi kogust ja mootori müra. CO₂ heitmed vähenevad kütuse elutsükli jooksul kuni 20%. NO_x, süsivesinik ja tahkete osakeste heitkogus on samuti väiksem ja väiksem on mootori müra;

Pikem mootoriõli tööiga. Paremad määrimisomadused kaitsevad kütusepihusti osi.

Puhtam mootor. Kütus põleb puhtamalt, tekitades vähem süsinikukoguseid, parandab mootori jõudlust ja vähendab hooldusvajadust;

Vaiksem mootori töö. Tänu suurele tsetaaniarvule käivitub mootor paremini ja töötab vaikselt ja suurema jõudlusega;

Puhtamad kütusepihustid. Mootori kütusepihustitele tekib vähem sadestust ja tahkete osakeste filtrid säilivad kauem puhtana. Selle tulemusel pikeneb mootori tööiga;

Pikem tahmafiltri tööiga. HVO ei tekita põlemisel peaaegu üldse tahma;

Vähem kahjulikke heitkoguseid. Raskemate fraktsioonide madalamate destillatsiooni temperatuuride tõttu põleb kütus täielikumalt ära. Mootoriõlisse satub vähem diislikütust, seega väheneb ka heitkogus. HVO ja tema segude destillatsioonijäägid väiksemad kui diislikütusel või diislikütuse ja FAME segudel.

2.7 Standard Biodiislikütusele ja kütteõlile EVS-EN 14214

Eesti Vabariigis müüdavale biodiislikütusele (FAME) ja kütteõlile vastab standard EVS-EN 14214+A1:2014. Mootorikütusena võib seda kütust kasutada ainult siis kui mootor on spetsiaalselt biokütuse jaoks valmistatud. Mootorikütusena segatakse seda fossiilse diislikütuse hulka. Euroopa Liidus on hetkel kehtestatud maksimaalne nõue 7% koguergiast. Seda siis selleks et vähendada keskkonda paisatava CO₂ hulka. Standardis ära määratud nõuded on toodud tabelis 2.7.

Tabel 2.7 Biodiislikütustele kehtivad üldnõuded

Biodiislikütuse üldnõuded			
Näitaja	Ühik	nõue	
		min	max
FAME-sisaldus	massi%	96,5	
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	860	900
Viskoosus temperatuuril 40°C	kg/m ²	3,50	5,00
Leekpunkt	°C	101	
Tsetaaniarv		51.0	
Korrosiivsus Vaskpladikatsel (3h temp 50°C)	Klass	Klass 1	
Oksüdatsioonistabiilsus temperatuuril 110°C	h	8,0	
Happearv	mg KOH/g		0,5
Joodiarv	g joodi/100g		120
Linoleenhappe metüülester	massi%		12,0
Polüküllastumata (vähemalt 4 kaksiksidet) metüülestriite sisaldus	massi%		1,00
Metanooli sisaldus	massi%		0,20
Monoglütseriidisisaldus	massi%		0,70
Diglütseriidisisaldus	massi%		0,20
Triglütseriidisisaldus	massi%		0,20
Vaba glütseroolisisaldus	massi%		0,02
Glütserooli üldsisaldus	massi%		0,25
Veesisaldus	mg/kg		500
Tahkete osiste sisaldus	mg/kg		24
Sulfaattuhasisaldus	massi%		0,02
Väävlisisaldus	mg/kg		10
I rühma metallide (Na+K) sisaldus	mg/kg		5,0
II rühma metallide(Ca+Mg) sisaldus	mg/kg		5,0
Fosforisisaldus	mg/kg		4,0

3. EKSPERIMENTAALNE OSA

3.1 Kütusesegude arvutused

Kütusesegude arvutused teostati Vedelkütuse seaduse 1. mai 2018 redaktsioonist lähtuvalt. Diislikütuse koguenergias alates 1. aprillist 2019 peab 2. põlvkonna biokütuse osakaal olema min 6,4% ja 1. põlvkonna biokütuse osakaal ei tohi ületada 7%. Vastavalt majandus- ja taristuministri 27.04. 2018 nr 21 määruse „Koguenergia arvutamise meetodi ning kütuse ja biokütuse energiasisalduse“ Lisa „Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldusele“ diislikütuse energiasisaldus mahu kohta (alumine eripõlemissoojus) on 36 MJ/l , biodiislil 33 MJ/l ja vesinikuga töödeldud taimeõlil- HVO 34 MJ/l kohta. Töös teostatakse arvutused diislikütuste segudele energiasisalduse järgi alustades biokütuste osakaaluga 10% (Vedelkütuse seaduses, min 6,4%) ja lubatud FAME max sisaldusega 7 mahu%.

Segu 10:

Arvutame 2. põlvkonna biokütuse energiasisalduse osakaalu aluseks 10 %, siis

$$36 \times 0,1 = 3,6 \text{ MJ}$$

$$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$$

$$3,6 - 2,52 = 1,08 \text{ HVO osakaal}$$

$$1,08 / 34 = 0,03176 \text{ l} = 31,76 \approx 32 \text{ ml HVO}$$

$$2,52 / 33 = 0,0764 = 76,4 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (32 + 76) = 892 \text{ ml diislikütust}$$

Segu 30:

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 30% ja 1. põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,3 = 10,80 \text{ MJ}$$

$$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$$

$$10,80 - 2,52 = 8,28 \text{ HVO osakaal}$$

$$8,28/34 = 0,243 \text{ liitrit HVO} = 243,5 \text{ ml HVO}$$

$$2,52/33 = 0,0764 \text{ liitrit FAME} = 76,4 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (243,5 + 76,4) = 681 \text{ liitrit diislikütust} = 680,1 \approx 680 \text{ ml diislikütust}$$

Segu 35:

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 35% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,35 = 12,6 \text{ MJ}$$

$$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$$

$$12,6 - 2,52 = 10,08 \text{ HVO osakaal}$$

$$10,08/34 = 0,2965 \text{ liitrit HVO} = 296,5 \text{ ml HVO}$$

$$2,52/33 = 0,0764 \text{ liitrit FAME} = 76,4 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (296 + 76) = 627,1 \approx 627 \text{ ml diislikütust}$$

Segu 40:

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 40% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,4 = 14,4$$

FAME osakaal 2,52 MJ ja sisaldus 76,4 ml

$$14,4 - 2,52 = 11,88 \text{ MJ HVO osakaal}$$

$$11,88 / 34 = 0,3494 \text{ liitrit HVO} = 349,4 \text{ ml HVO}$$

$$1000 - (349,4 + 76,4) = 574,2 \approx 574 \text{ ml Diislikütust}$$

Segu 45:

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 45% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,45 = 16,2$$

FAME osakaal 2,52 MJ ja sisaldus 76,4 ml

$$16,2 - 2,52 = 13,68 \text{ MJ HVO osakaal}$$

$$13,68 / 34 = 0,4024 = 402,4 \text{ ml HVO}$$

$$1000 - (76,4 + 402,4) = 521,2 \approx 521 \text{ ml diislikütust}$$

Segu 50:

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 50% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,50 = 18 \text{ MJ}$$

$$\text{FAME } 36 \times 0,07 = 2,52$$

$$18 - 2,52 = 15,48 \text{ HVO}$$

$$15,48 / 34 = 0,4553 \text{ liitrit} = 455,3 \text{ ml HVO}$$

$$2,52 / 33 = 0,0764 \text{ FAME} = 7,64 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (455,3 + 7,64) = 468,7 \approx 469 \text{ ml diislikütust}$$

Arvutuste tulemusel koostati tabel 3.1.

Tabel 3.1. Segud Neste diislikütusega

Biokütuse osakaal kogu energiamahust	HVO, 2.põlvkond sisaldus, ml	FAME, 1. põlvkond sisaldus, ml	Diislikütuse sisaldus, ml
10%	32	76	892
30%	244	76	680
35%	297	76	627
40%	349	76	574
45%	402	76	521
50%	492	76	470

3.2 NESTE DK, GOST DK ja segude laboratoorsed katsetused

Katsekütusteks olid:

- 1) fossiilne Neste EVS-EN 228:2012 nõuetele vastav diislikütus (ilma etanooli lisandita);
- 2) diislikütus GOST 3211-2013 nõuetele vastav ökoloogiline diislikütus K5 (väävlisisaldusega kuni 10 mg/kg) kohta;
- 3) HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*), NESTE RENEWABLE DIESEL (HVO), vastab EN 15940:2016 parafiinse diislikütusele esitatud nõuetele, 2. põlvkonna biokütus);
- 4) FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*, rapsmetüülestrid. 1. põlvkonna biokütus EVS-EN 14214: 2012.
- 5) Energiasisalduse mahu järgi valmistati segud nii Neste diislikütusega (DK 1) jäid vastama suvediislikütuse nõuetele. Valmistati alljärgnevad segud (Tabel 3.1): Neste diislikütusega 30%, 40%, 45%, 50% 2. põlvkonna biokütuseosa energiasisalduse järgi + 7 mahu% FAMEt energiasisalduse järgi kõigis segudes.

3.2.1 Välimuse hindamine

Kütuse välimus on kütuse tiheduse määramise kõrval oluline näitaja hindamiseks tema kvaliteeti. Välimust hinnati ASTM D4176 - 93(1997) järgi. [29]

On teada, et kütuse seismisel on üheks muutuvaks näitajaks ka välimus lisaks tiheduse, kinemaatilise viskoossuse, oksüdatsioonilise stabiilsuse, happesuse ja tahkete osiste sisalduse kõrval.

Kütuse katsetusi alustatakse alati kütuse välimuse visuaalse hindamisega ASTM D4176 järgi. Kütuseid vaadatakse vastu valgust 250 cm³ silindris. Alljärgnevate kahe tabeli abil on võimalik kergesti teha kokkuvõtteid ja raporteerida tulemusi.

Tabel 3.2. Proovi kirjeldus setete järgi

Tulemus	Tulemuse jaotus	Kirjeldused
Selge	A	Ei ole nähtavaid osakesi, muda, setteid, värvingut (ebaharilikku kütuse värvust, roostet või tahket ainet)
Kergelt tahkeid osakesi	B kuni C	Mõned peened väikesed osakesed
Tahked osakesed	D	Paljud väikesi osakesi: kas ujuvad või asuvad põhjas
Must	E kuni I	Proovi värvimuutus või paljude osakeste settimine põhja

Tabel 3.3. Proovi kirjeldamine veesisalduse järgi

Tulemus	Kirjeldused
Läbipaistev (<i>Bright</i>)	Ei ole vett nii vedelikus kui silindri põhjas
Udune (<i>Hazy</i>)	Peened veetilgad on disperseeritud läbi kogu proovi. Kui proov soojeneb, nad võivad kaduda, aga nähtus tuleb raporteerida.
Hägune (<i>Cloudy</i>)	
Märg (<i>Wet</i>)	Veetilgad või veekiht silindri seintel või silindri põhjas.

Muud saastunud väljanägemise hinnangud. Proovi väljanägemise kirjeldus ja võimalikud põhjused:

- a) pindaktiivne aine või mikroobid- lima piirpinnal, mis põhjustab kütuse tumepruuni / musta kütuse värvust või vee värvumist. Anaeroobsete bakterite olemasolu kütuses põhjustab teravat lõhna, mis sarnaneb mädamuna lõhnale;
- b) muude toodetega ristsaastumine- kütuse värvumise võivad põhjustada punase, rohelise, sinise või mõne muu värvuse kombinatsiooni kütustes;
- d) kütuse vananemine- tumenenud, värvunud ja võib olla enam viskoosne, ebahariliku lõhnaga kütus.

Võrreldes katsetatud kütuste välimusi tabelites esitatutega, võib öelda, et kõik kütused olid selged ja läbipaistvad värvuselt kollased GOSTi ja Neste kütused isegi helekollased.

3.2.2 Tiheduse mõõtmine

Kütuse tihedus ρ , on ühetaolise aine ruumala ühiku mass valitud temperatuuril. Tiheduse mõõtühikuks on SI süsteemis kg/m^3 .

Tiheduse mõõtmine teostati ASTM Hydromether 85H-62 HVO ja mõõtepiirkonnaga $0,800 \text{ g/cm}^3 - 0,850 \text{ g/cm}^3$ 15°C juures kasutades. Temperatuur mõõdeti digitaalset ThermoProbe TL-1A andurit kasutades. Tihedus arvutati 15°C juurde, sest kütuse spetsifikatsioon nõuab tiheduse esitamist SI-süsteemis 15°C juures. Ümberarvutamiseks kasutati võrrandit

$$\rho_{15} = \rho_t + \lambda(t - 15) \quad (3.1)$$

- kus ρ_{15} - standardtihedus 15°C juures;
 ρ_t - uuritava proovi tihedus temperatuuril t ;
 t - temperatuur tiheduse määramise ajal;

$\lambda(\gamma)$ - paranduskoefitsient (vt Tabel 3.4) on tiheduse temperatuurisõltuvuse jaoks (EI, IP 160: *Crude petroleum and liquid petroleum products - Laboratory determination of density - Hydrometer method*, 1999).[30]

Tabel 3.4 tiheduse paranduskoefitsiendid

Tiheduse arvutused:

1. Neste DK

$$\rho = 833 \text{ kg/cm}^3, t = 22,95^\circ\text{C}$$

$$\rho_{15} = \rho_t + \lambda(t - 15) = 833 + 0,69 \times (22,95 - 15) = 838,5 \text{ kg/cm}^3$$

$$\rho = 838,8 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadmeabil})$$

2. GOST DK

$$\rho = 824 \text{ kg/cm}^3, t = 21,56^\circ\text{C}$$

Density at 15 °C, g/ml Rel d 15/4 °C	Correction coef- ficient per °C	Density at 15 °C, g/ml Rel d 15/4 °C	Correction coef- ficient per °C
0,5967-0,6049	0,00105	0,7422-0,7534	0,00081
0,6050-0,6133	0,00103	0,7535-0,7646	0,00079
0,6134-0,6219	0,00101	0,7647-0,7757	0,00078
0,6220-0,6319	0,00099	0,7758-0,7866	0,00076
0,6320-0,6418	0,00097	0,7867-0,7984	0,00074
0,6419-0,6529	0,00095	0,7985-0,8020	0,00072
0,6530-0,6648	0,00094	0,8021-0,8279	0,00070
0,6649-0,6773	0,00092	0,8280-0,8594	0,00069
0,6774-0,6897	0,00090	0,8595-0,9245	0,00067
0,6898-0,7023	0,00088	0,9246-1,0243	0,00065
0,7024-0,7164	0,00087	1,0244-1,0742	0,00063
0,7165-0,7298	0,00085	1,0743-1,1241	0,00061
0,7299-0,7421	0,00083		

$$= \rho_t + \lambda(t - 15) = 824 + 0,7 \times (21,56 - 15) = 828,6 \text{ kg/cm}^3$$

$$\rho = 828,8 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadmeabil})$$

3. Segu 30

$$\rho = 821,5 \text{ kg/cm}^3, t = 23,28^\circ\text{C}$$

$$= \rho_t + \lambda(t - 15) = 821,5 + 0,7 \times (23,28 + 15) = 827,3 \text{ kg/cm}^3$$

$$\rho = 827,7 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadme abil})$$

Kuna arvutusliku ja seadmega saadud tulemused olid sarnased siis järelejäänud segudel kasutati aja kokkuhoiu mõttes seadet.

Segu 40

$$\rho = 820,1 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadme abil})$$

Segu 45

$$\rho = 819 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadme abil})$$

Segu 50

$$\rho = 815,9 \text{ kg/cm}^3 (\text{seadme abil})$$

3.2.3 Destillatsioonikarakteristikud

Kuna diislikütused koosnevad paljudest orgaanilistest ühenditest ja seetõttu ei ole neil ühte kindlat keemistemperatuuri, siis iseloomustatakse neid keemistemperatuuri alguse ja fraktsioonkoostisega.

Fraktsioonkoostis on üksikute süsivesinikfraktsioonide kondenseerunud maht kindlal temperatuuril.

Proovi fraktsioonkoostis määratakse destillatsiooni teel võttes kolbi 100 ml kütust, kuumutades kütust ja jahutamise teel kondenseeritakse kütus vastuvõtusilindrisse. Registreeritakse kütuse keemistemperatuuri algus ja lõpp ning temperatuurid, mille juures vastavad mahud kondenseeruvad.

Analüüsid teostati EN ISO 3405 järgi kasutades Koehler Instrument destillatsiooni seadet, mudel K45090. [31]



Joonis 3.1. Koehler Instrument destillatsiooniseade.

Tabel 3.5. Diislikütuste destillatsiooni karakteristikud

Näitaja	Ühik	NESTE DK	GOST DK	Segu 30	Segu 40	Segu 45	Segu 50
Keemise algus	°C	163	156	167	180	171	169
10 mahu% au- rustunud	°C	203	195	218	218	224	224
20 mahu% au- rustunud	°C	226	215	240	243	247	247
30 mahu% au- rustunud	°C	243	232	255	258	262	262
40 mahu% au- rustunud	°C	257	248	268	269	271	270
50 mahu% au- rustunud	°C	273	263	278	277	279	278,5
60 mahu% au- rustunud	°C	283	278	285	285	286	286
70 mahu% au- rustunud	°C	297	295	298	293	295	294
80 mahu% au- rustunud	°C	313	311	312	304,5	306	304
90 mahu% au- rustunud	°C	334	333	331	323	323	320
Destilleerub 180 °C juures	%	4	3,5	2	0	1,5	2
Destilleerub 250 °C juures	%	36	41,5	27	25	22	22
Destilleerub 350 °C juures	%	97	97	-	-	-	-

Tabel 3.5 järg

Näitaja	Ühik	NESTE DK	GOST DK	Segu 30	Segu 40	Segu 45	Segu 50
95 mahu% destil- leerub temperatuuril	°C	346	349	343	341	337	336
Keemistemperatuuri lõpp	°C	350	355	346	343	339,5	342
Destilleerub	mahu%	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
Destillatsioonijääk	mahu%	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Kaod	mahu%	0	0	0	0	0	0

3.2.4 Kinemaatiline viskoossus 40 °C juures

Kinemaatiline viskoossus on kütuse voolavust iseloomustav näitaja. See on vedeliku omadus avaldada vastupanu tema osakeste vastastikusele liikumisele välise jõu toimet.

Kinemaatilise viskoossuse määramiseks on esitatud standard EN ISO 3104 [33]. Diislikütuse viskoossus määrati Cannon -Fenske Routine kapillaarviskosimeetriga.

Kütuste voolamiseks kulunud aeg mõõdeti stopperiga OAKTON. Temperatuur hoiti konstantsena 40 °C juures Julabo termostaadis (joonis 4.2.). Joonisel 4.2 on viskosimeeter Cannon-Fenske Routine.



Joonis 3.2. Viskosimeeter Cannon-Fenske Routine [32].

Diislikütuse kinemaatiline viskoossus ν arvutati läbivoolu aja ja viskosimeetri konstandi C abil kasutades võrrandit:

$$\nu = C \times t \quad (3.2)$$

kus ν - on kinemaatiline viskoossus mm^2/s kohta;

C - viskosimeetri kalibreerimise konstant;

t - kütuse läbivoolu aeg kapillaarviskosimeetris märgist märgini, s.

Tulemused:

1. Neste DK kinemaatiline viskoossus : $\nu = t * C = 367,45 * 0,00787 = 2,892 \text{ mm}^2/\text{s}$
2. GOST DK kinemaatiline viskoossus: $\nu = t * C = 348 * 0,00787 = 2,739 \text{ mm}^2/\text{s}$
3. Segu 30 kinemaatiline viskoossus: $\nu = t * C = 391 * 0,007647 = 2,99 \text{ mm}^2/\text{s}$
4. Segu 40 kinemaatiline viskoossus: $\nu = t * C = 380 * 0,00787 = 2,991 \text{ mm}^2/\text{s}$

3.2.5 Leekpunkt

Leekpunkt on põleva aine madalaim temperatuur, mille juures aurud segus õhuga plahvatavad leegi juurde viimisel ümbritseval baromeetrilisel rõhul, aga aurude moodustumise kiirus ei ole veel piisav vedeliku enda põlema süttimiseks. Leekpunkt iseloomustab üksnes kütuse tuleohtlikkust. Kui kütuse leekpunkt on madalam standardis nõutust, siis võib eeldada ka kerge te fraktsioonide kõrget sisaldust või bensiini sattumist diislikütusesse.

Leekpunkt määrati Pensky-Martens suletud testris järgides EN ISO 2719 nõudeid [34].

Arvutused parameetrilise rõhu parandustega: Laboritöö juhendist

Tulemused:

1. Leekpunkt NESTE DK puhul 71°C ;
2. Leekpunkt GOST DK puhul 62°C .
3. Leekpunkt Segu 30 puhul 72°C .
4. Leekpunkt Segu 40 puhul 68°C .
5. Leekpunkt Segu 45 puhul 67°C .
6. Leekpunkt Segu 50 puhul 68°C

3.2.6 Hägustumispunkt

Hägustumispunkt on temperatuur, mille juures kütuses sisalduvad rasked parafiinid hakkavad välja sadenema. Hägustumispunkt iseloomustab diislikütuse kasutavust madalal temperatuuril. Suvises diislikütuses on rakseid parafiine rohkem ja seetõttu on hägustumispunktid kõrgemad ja neid ei normita. Normitud on ainult külmafiltril ummistumispunkt, mis võib

olla max -5 °C. Talvisest diislikütusest on rasked fraktsioonid eemaldatud, et külmakindlus oleks tagatud. Talvise diislikütuse hügustumispunkt võib olla maksimaalselt -16 °C.

Hügustumispunkt määrati EN 23015 metoodika järgi. [26]

Tulemus:

1. Hügustumispunkt NESTE DK puhul -6 °C;
2. Hügustumispunkt GOST DK puhul -7 °C.
3. Hügustumispunkt Segu 30 puhul -10 °C.
4. Hügustumispunkt Segu 40 puhul -12 °C.
5. Hügustumispunkt Segu 45 puhul -13 °C.
6. Hügustumispunkt Segu 50 puhul -15 °C

3.2.7 Korrosiivne toime Cu-plaadikatsel

Vaskplaadikatsel abil tuvastatakse, et kütus ei sisaldaks ühendeid, mis võiksid korrodeerida mahuteid, pumpasid ning auto paaki ja toitesüsteemi. Metallide intensiivse korrosiooni põhjustavad eelkõige aktiivsed väävliühendid (vesiniksulfiid, merkaptaanid) või sisaldab kütus mineraalseid happeid või aluseid.

Korrosiivustest teostati EN ISO 2160 järgi vaskplaati kasutades [35]. Katsetustes olid NESTE diislikütus, GOST DK K5 ja nende segud HVO + 7% FAMEga. Mõlemad diislikütused ja analüüsitud biokütuste segud läbisid korrosiooni klass 1, mis näitas, et mootorikütuste korrosiivne toime Cu-plaadile vastas esitatud normile.

3.2.8 Tsetaaniindeksi arvutamine

Tsetaaniindeks on arvutuslik näitaja, mis leitakse teades kütuse tihedust ja fraktsioonkoostist järgmise valemi järgi, mis on esitatud EVS-EN ISO 4264 [36]

$$CI = 45,2 + 0,0892T_{10} + (0,131 + 0,901B)T_{50N} + (0,00523 - 0,42B)T_{90N} + 0,00049(T_{10N^2} - T_{90N^2}) + 107B + 60B^2 \quad (3.3)$$

kus $T_{10N} = T_{10} - 215$;

$T_{50N} = T_{50} - 260$;

$T_{90N} = T_{90} - 310$;

T_{10} – destillatsioonil 10% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

T_{50} – destillatsioonil 50% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

T_{90} – destillatsioonil 90% kondenseerunud mahu temperatuur °C;

$B = [\exp(-0,0035 D_N)] - 1$;

$D_N = D - 850$;

D – tihedus 15 °C juures.

Reaalselt kasutati antud proovide puhul arvutiprogrammi ja tulemused olid:

- 1) Neste diislikütus: 54,7;
- 2) GOST DK 53,01
- 3) Segu 30: 57,2.

3.2.9 Veesisaldus Karl Fischer tiitrimisega

Keemiliselt seotud veesisaldus määrati Karl Fischer kulonomeetrilise tiitrimise teel tekkiva reagenti meetodil EN ISO 12937 järgi [37]. Selle meetodi järgi genereeritakse vajalik jood elektrokeemiliselt ja tema hulka mõõdetakse vooluhulga kaudu.

Kasutati Mettler-Toledo C20 Coulomatic KF Titraatorit.

Titraator koosneb kahest Pt-elektroodist, generaatorseadmistikust ja magnetsegajast (joonis 3.3.)



Joonis 3.3. Mettler Toledo Kulonomeetriline Karl Fischer Titraator C20.

Instrument on disainitud kulonomeetriliselt joodi genereerima nii, et jood reageerib stöhhio-
meetriliselt veega, mis sisaldub proovilahuses. Mõõterakk on osaliselt täidetud proovi lahustu-
tava ja reagentide sisaldava anolüüdiga - HYDRANAL R-Coulomat Oil ja generaatori elekt-
rood on täidetud katolüüdiga *HYDRANAL R- Coulomat CG Oil*. Jood reaktsiooni tarvis sünt-
teesitakse generaatorelektroodil kulonomeetriliselt jodiidioonist peale proovi lisamist süst-

laga läbi septumi reaktsiooninõusse. Joodi tekkeks kulunud vooluhulk vastab proportsionaalselt tiitrimisnõus olevale veehulgale. Seda, kui palju on vaja tekitada joodi, jälgib seade indikaatorelektroodi abil voltamperomeetriliselt. Indikaatorelektroodi otstele rakendatakse teatava tugevusega vahelduvvool, mistõttu tekib elektrootodide vahel potentsiaalide vahe. See potentsiaalide vahe langeb oluliselt, kui lahuses esineb kasvõi minimaalne kogus vaba joodi. Kui see on juhtunud, siis seade lõpetab joodi tootmise ja loeb selle tiitrimise lõpppunktiks.

Tiitritud vee kogus arvutatakse seadmes Faraday elektrolüüsi seaduse alusel

$$m = \frac{M \times Q}{z \times F} \quad (3.4)$$

kus m on elektrolüüdil eraldunud aine mass, μg

Q on süsteemi läbinud laengu hulk,

M on aine molaarmass,

z on ülekantud elektronide arv,

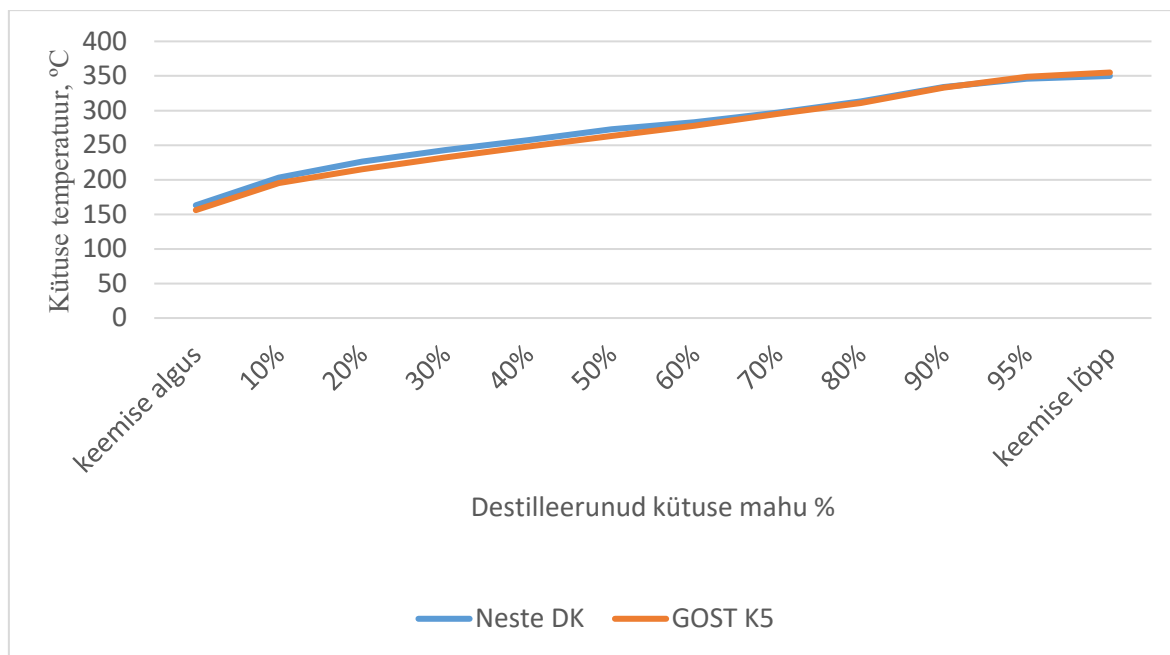
F on Faraday arv 96485 C/mol^{-1} .

Seade arvutab vee koguse ja annab automaatselt mg/kg , ppm või massi\% -des.

GOST DK süstlaga sisse süstitav diislikütuse kogus oli $3,2344 \text{ g}$ ja veesisalduseks saadi 28 mg/kg .

Neste DK süstitav kogus oli $2,9264 \text{ g}$ ja veesisalduseks saadi 19 mg/kg kohta.

Joonisel 3.4. on välja toodud NesteDK ja GOST DK fraktsioonkoostise võrdlus. Jooniselt on näha, et kogu keemise protsess on neil kütustel väga sarnane. Seega GOST DK on väga hästi kasutatav moodsatel diiselmootoritel.



Joonis 3.4 Neste DK ja GOST DK fraktsioonkoostise võrdlus.

3.3 Katsetulemuste arutelu

Kütuselaboris arvatatud tulemuste järgi valmistati diislikütuse 2. ja 1. põlvkonna biokütusega segud energiasisaldusest lähtuvalt. Teostatud katsetuste teel saadud parameetrite võrdlemisel saab teha rida kokkuvõtvaid järeldusi. Esiteks mida madalam on kütuse tihedus, seda madalamad on ka destillatsiooni temperatuurid, mida selgelt väljendavad fraktsioonkoostise keemise lõpu temperatuurid. Seda on näha HVO komponenti sisaldavast diislikütuse leitud parameetritest. (Vt tabel lisas E). Sama seost täheldati ka leekpunkti katsel. Madalama destillatsiooni lõpptemperatuuriga suurema % HVO segud olid ka madalama leekpunkti temperatuuriga kui fossiilsetel diislikütustel.

Vene Föderatsioonist Pihkvast ostetud diislikütuse analüüsiga ja spetsiaalselt Neste OY-lt saadud diislikütuseid kasutati eksperimentis seetõttu, et bakalaureusetöö teostamise ajal Eestis enam tanklates müügil ilma biolisandite sisalduseta diislikütust enam ei olnud. Kui poliitilised suhted naaberriikide Venemaa ja Eesti vahel paraneksid ja edaspidi ka Euronõuetele vastav Vene kütus K5 Eesti turule tuleks, saaks seda edukalt segada biolisanditega. Euronõuetele vastavust kontrolliti väävlisisalduse analüüsiga Analüüt OÜ kütuselaboris, milleks saadi 5,1 mg/kg kohta (norm 10 mg/kg) (Lisa G).

Katsetuste tulemused näitasid, et Neste diislikütus oli suvine külmafiltri ummistumispunktiga max $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pihkvast ostetud GOST DK K5 aga üleminekuperioodiks valmistatud kütus kasutamisega kuni $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nende kütuste fraktsioonkoostisest lähtuvalt on diislikütustesse segatavad biokütuste osaprotsendid erinevad. Talvisemasse Pihkva kütusesse on võimalik vähem 2. põlvkonna HVOd lisada, sest suvediislikütuse tihedus langeb alla min lubatud normi 820 kg/m^3 kohta. Siit saab teha üldise järelduse, et suvistesse suurema tihedusega kütustesse saab rohkem HVOd lisada. Talviste fossiilsetele mootorikütustele on kergem suuremaid mahuprotsente biokomponenti juurde lisada, sest tiheduse alumine piir on 800 kg/m^3 ja HVO ise omab väga head külmakindlust. Tema külma filtri ummistumispunkt on $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ juures. Neste kütusesesegu 1. põlvkonna FAME lisamine tõstab küll keemistemperatuuride lõpptemperatuure, kuid HVO juurde lisamine omakorda vähendab oluliselt raskeid fraktsioone segus ja alandab seega ikkagi keemise lõpptemperatuuri (vt võrdlustabelit – Lisa E). Puhastel diislikütustel 90 mahu% aurustunud vastavalt DK GOST 333 $^{\circ}\text{C}$, DK Neste , HVO 288 $^{\circ}\text{C}$; Biokütuse 40% energiamahus segudel vastavalt 323 $^{\circ}\text{C}$ ja keemise lõpptemperatuurid T95 vastavalt GOST DK 345 $^{\circ}\text{C}$ ja Neste DK, kusjuures segu tiheduseks saadi $820,1\text{ kg/m}^3$.

HVO juurde lisamise plussiks on veel see, et paranevad diiselmootori käivitusomadused ja ka mootori jõudlus [14]. Seda näitavad fraktsioonkoostise tiheduse põhjal arvutuslikud tseaniindeksid Neste DK 51,3; GOST DK 53 ja 40% energiamahus kütusel 61,9.

Piiravaks näitajaks segude valmistamisel jäi tihedus, sest HVO % juurde lisamisel 45% , 50 % vt Tabel 3.6 Neste DK ei segud suvediislikütusele esitatud normidele vastavaks.

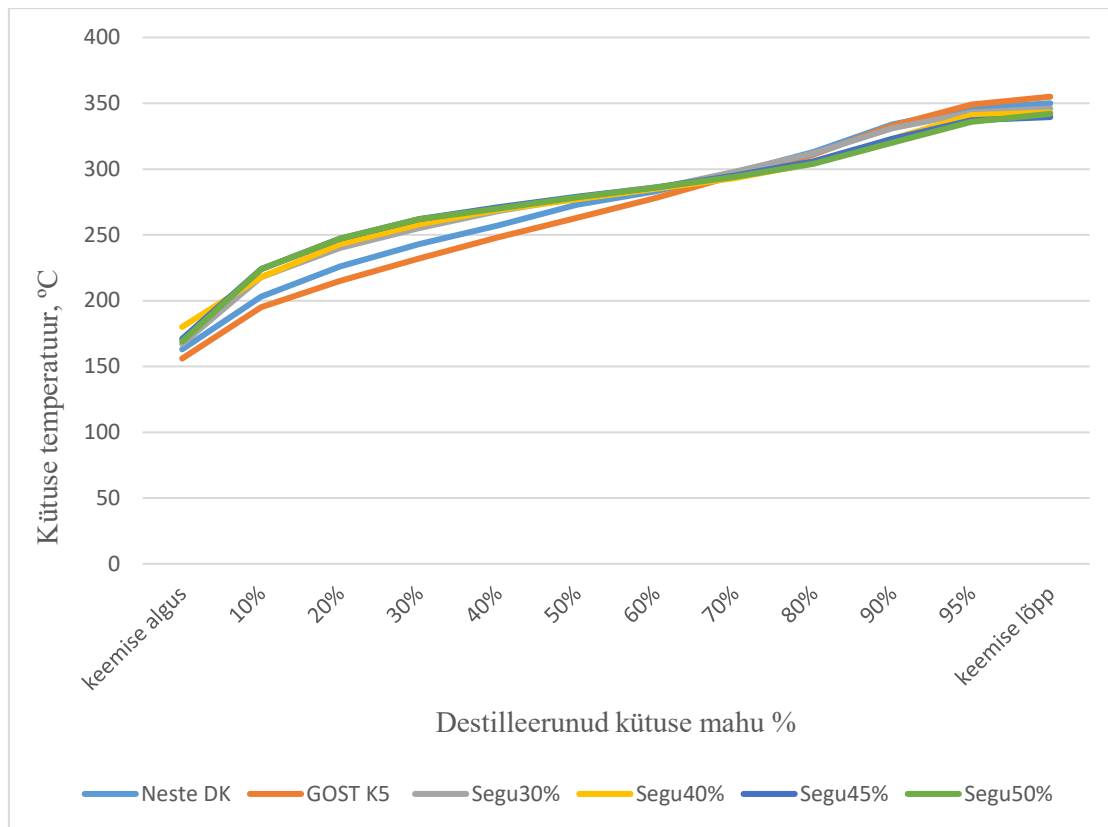
Diislikütuse ja HVO tihedusi võrreldes on selge, et ülemineku diislikütusele GOST K5 ökoloogiline üksnes HVOd lisades saaksime talviseid diislikütuseid. Biokomponendi segusse FAME lisamine ei taga aga talvediislikütusele esitatud külmakindluse nõudeid. Seetõttu FAMEt ei lisatud talveperioodil 01.11.2018-31.03.2019 ja müügil oli üksnes talvine fossiilne kütus hügustumispunktiga min $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja külma filtri ummistumispunktiga min $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tuginedes tabeli 3.6 andmetele saab öelda, et antud GOST DK K5 diislikütusele saaks max 15 % DK lisada, sest siis jääks kehtima veel suvisele diislikütusele esitatud tiheduse nõue.

Tabel 3.6 Segud Neste diislikütusega ja GOST DK K5 ökoloogilisega

Biokütuse osakaal kogu energiamahust	HVO, 2.põlvkond sisaldus, ml	FAME, 1. põlvkond si- saldus, ml	Diislikütuse sisaldus, ml	Segu ti- hedus Neste DK 15 °C, kg/m ³	Segu ti- hedus GOST DK K5 15 °C, kg/m ³
10 %	32	76	892		823,0
20%	138	76	786		818,5
30%	243,5	76	680	827,7	813,4
35%	296,5	76	627		811,0
40%	349	76	574	820,1	
45%	402	76	521	819,0	
50%	492	76	470	815,9	812,3

Diislikütuse ja HVO tihedusi võrreldes on selge, et ülemineku GOST DK K5 diislikütusele üksnes HVOd lisades saaksime talviseid diislikütuseid. Biokomponendi segusse 7 % FAME lisamine ei taga aga talvediislikütusele esitatud külmakindluse nõudeid. Seetõttu FAMEt ei lisatud talveperioodil 01.11.2018-31.03.2019 ja müügil oli üksnes talvine fossiilne kütus hāgustumispunktiga min -16 °C ja külma filtri ummistumispunktiga min -26 °C. Tuginedes tabeli X andmetele saab öelda, et antud DK K5 diislikütusele saaks max 15 % DK lisada, sest siis jääks kehtima veel suvisele diislikütusele esitatud tiheduse nõue.

Joonisel 3.5 on välja toodud Neste DK ja GOST DK ja Segu 30, Segu 40, Segu 45, Segu50 fraktsioonkoostise kõverad. Jooniselt on näha, et keemise alguses erilist erinevust pole, kuid keemise lõpptemperatuuril on erinevus märgatav. Antud graafikjärgi võib järeldada, et HVO segud diislikütustega on madalamate destillatsioonitemperatuuridega, põlevad täielikumalt. Kütuse täielikum põlemine tagab väiksema kahjulike heitgaaside eraldumise väliskeskkonda.



Joonis 3.5 Neste DK ja GOST DK ja Segu 30, Segu 40, Segu 45 Segu50 fraktsioonkoostised.

3.4 Hinnakujunemine

Üldtuntud on, et mootorikütuste hinnad kujunevad välja maailmaturu hinnast ja dollari ning Euro omavahelisest kursist [28]. Diislikütuste segude puhul, mis sisaldavad 2. põlvkonna ja 1. põlvkonna biokütust, omab suuremat kaalu 2. põlvkonna biokütuse sisaldus, sest selle kütuse hind on oluliselt kõrgem kui fossiilsel kütusel. Ka FAME ehk biodiisli hind mõjutab fossiilse diislikütuse kütuse lõpphinda.

Mootorikütuse jaehinda mõjutavad tegurid :

Hooajaliste toodete sisseostuhindade erinevus,

Valuutakursside kõikumine,

Mootorikütuse hinda mõjutavad maksud,

Poliitika ja maailma majandus,

Kohalik konkurents. [21]

Vastavalt NESTE EESTI AS hulgimüügiühilt hr Urmas Kuuselt saadud andmetele, tõstab 40 mahu% HVO lisamine diislikütuse ühe liitri hinda 20 senti (Kuuse, 2019). Seega 100 % lise HVO hind kujuneks 50 senti kõrgemaks fossiilse diislikütuse hinnast. FAME hind saadi NESTE koduleheküljelt [22], millele lisati aktsiisi- ja käibemaks, diislikütuse hind võeti tankla müügist.

Kütuste hinnad arvutuste aluseks: Diislikütus - 1,419 €;

HVO- $1,419 + 0,50 = 1,919$ €,

FAME- 1,315 €

FAME hinna kalkulatsioon:

Kui FAME hind 849 USD/t = 0,849 USD/kg 09.04.2019 seisuga [22]

Arvutame hinna liitri kohta oletades, et FAME tihedus on $884,7 \text{ kg/m}^3 = 0,8847 \text{ kg/l}$

$1 \text{ kg} / 0,8847 \text{ kg/L} = 1,130 \text{ L}$

$1 \text{ USD} = 0,887268146 \text{ €}; 0,887268146 * 0,849 = 0,75329 \text{ €/kg}$

$1,130 \text{ L} - 0,75329 \text{ €}$

$1 \text{ L} - x$

$x = 0,75329 / 1,130 = 0,6666 \text{ €}$

Aktsiisimäär FAMEL sama, mis diislikütusel [23]

1000 L- 493 € (), 1 Liitrile 0,493 €;

$0,6666 + 0,493 = 1,1596 \text{ €} + \text{käibemaks } 20\%$

$1,1596 * 0,2 = 0,23192; 1,1596 + 0,23192 = 1,3915 \text{ €}$

3.4.1 Töös kasutatud segude hinna analüüs.

Töös teostatakse arvutused diislikütuste segudele energiasisalduse järgi alustades biokütuste osakaaluga 10% (Vedelkütuse seaduses, min 6,4%) ja lubatud FAME max sisaldusega 7 mahu%. Arvutustes eeldasime, et HVO on toodetud taimeõlist (mitte biomassi jääkidest või jäätmetest, mille korral 2. põlvkonna biokütuse osakaal energiasisalduses võetakse kahekordselt).

Segu 1: Arvutame 2. põlvkonna biokütuse energiasisalduse osakaalu aluseks 10 %, siis

$36 \times 0,1 = 3,6 \text{ MJ}$

$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$

$3,6 - 2,52 = 1,08 \text{ HVO osakaal}$

$1,08 / 34 = 0,03176 \text{ l} = 31,76 \approx 32 \text{ ml HVO}$

$2,52 / 33 = 0,0764 = 76 \text{ ml FAME}$

$1000 - (32 + 76) = 892 \text{ ml diislikütust}$

HVO hinnalisa:

1 L – 1,919 €

32 ml – x

$$X = 32 \times 1,919 / 1000 = 0,061408$$

FAME hinnalisa

1 L – 1,3915 €

76 ml – x

$$X = 76 \times 1,3915 / 1000 = 0,10575 \text{ €}$$

DK hinnalisa

1 L – 1,419 €

892 – x

$$X = 892 \times 1,419 = 1,2657$$

Segu:2

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 30% ja

1. põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,3 = 10,80 \text{ MJ}$$

$$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$$

$$10,80 - 2,52 = 8,28 \text{ HVO osakaal}$$

$$8,28 / 34 = 0,244 \text{ liitrit HVO} = 244 \text{ ml HVO}$$

$$2,52 / 33 = 0,076 \text{ liitrit FAME} = 76 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (244 + 76) = 680 \text{ ml diislikütus}$$

HVO hinnalisa

$$244 \times 1,919 / 1000 = 0,4682 \text{ €}$$

$$\text{DK hinnalisa } 680 \times 1,419 / 1000 = 0,9649 \text{ €}$$

Segu: 3

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 35% ja

1. põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,35 = 12,6 \text{ MJ}$$

$$36 \times 0,07 = 2,52 \text{ FAME osakaal}$$

$$12,6 - 2,52 = 10,08 \text{ HVO osakaal}$$

$$10,08/34 = 0,296 \text{ liitrit HVO} = 296 \text{ ml HVO}$$

$$2,52/33 = 0,0764 \text{ liitrit FAME} = 76 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (296 + 76) = 628 \text{ ml diislikütust}$$

HVO hinnalisa

$$296 * 1,919 / 1000 = 0,5680 \text{ €}$$

DK hinnalisa

$$628 * 1,419 / 1000 = 0,8911 \text{ €}$$

Segu: 4

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 40% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,4 = 14,4$$

FAME osakaal 2,52 MJ ja sisaldus 76 ml

$$14,4 - 2,52 = 11,88 \text{ MJ HVO osakaal}$$

$$11,88 / 34 = 0,3494 \text{ liitrit HVO} = 349 \text{ ml HVO}$$

$$1000 - (349 + 76) = 575 \text{ ml Diislikütust}$$

HVO hinnalisa

$$349 * 1,919 / 1000 = 0,6697 \text{ €}$$

DK hinnalisa

$$575 * 1,419 / 1000 = 0,8159 \text{ €}$$

Segu: 5

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 45% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,45 = 16,2$$

FAME osakaal 2,52 MJ ja sisaldus 76 ml

$$16,2 - 2,52 = 13,68 \text{ MJ HVO osakaal}$$

$$13,68 / 34 = 0,4024 = 402 \text{ ml HVO}$$

$$1000 - (76 + 402) = 522 \text{ ml diislikütust}$$

HVO hinnalisa

$$402 * 1,919 / 1000 = 0,7714$$

DK hinnalisa

$$522 \times 1,419 / 1000 = 0,8731$$

Segu: 6

Arvutame biokütuste sisaldused liitrites, kui 2. põlvkonna osakaal energiamahus on 50% ja 1.põlvkonna biokütuse osa jääb max 7 %

$$36 \times 0,50 = 18 \text{ MJ}$$

$$\text{FAME } 36 \times 0,07 = 2,52$$

$$18 - 2,52 = 15,48 \text{ HVO}$$

$$15,48 / 34 = 0,4553 \text{ liitrit} = 455 \text{ ml HVO}$$

$$2,52 / 33 = 0,0764 \text{ FAME} = 76 \text{ ml FAME}$$

$$1000 - (455 + 76) = 469 \text{ ml diislikütust}$$

HVO hinnalisa

$$455 \times 1,919 / 1000 = 0,8731 \text{ €}$$

DK hinnalisa

$$469 \times 1,4190 / 1000 = 0,6655 \text{ €}$$

Arvutuste alusel on koostatud tabel 3.7.

Tabel 3.7 Laboratoorsetel katsetustel koostatud biokütuste segude hinnad fossiilse diislikütusega

2.põlvkonna osakaal energiamahus, %	HVO, 2.põlvkond sisaldus, ml	FAME, 1.põlvkond sisaldus, ml	Diislikütuse sisaldus, ml	DK, 1,419 €/liiter	HVO hinnalisa, €	FAME hinnalisa, €	Lõpphind, €/liiter
10	32	76	892	1,2657	0,06141	0,10575	1,433
30	244	76	680	0,9649	0,4682	0,10575	1,539
35	296	76	628	0,8911	0,5680	0,10575	1,562
40	349	76	575	0,8159	0,6697	0,10575	1,591
45	402	76	522	0,7407	0,7714	0,10575	1,618
50	455	76	469	0,6655	0,8731	0,10575	1,644

*FAME hinna arvutus

Kui FAME hind 849 USD/t = 0,849 USD/kg 09.04.2019 seisuga (Neste FAME hinnalehekülg, 2019) [22]

Arvutame hinna liitri kohta oletades, et FAME tihedus on $884,7 \text{ kg/m}^3 = 0,8847 \text{ kg/l}$

$$1 \text{ kg} / 0,8847 \text{ kg/L} = 1,130 \text{ L}$$

$$1 \text{ USD} = 0,887268146 \text{ €}; 0,887268146 * 0,849 = 0,75329 \text{ €/kg}$$

$$1,130 \text{ L} - 0,75329 \text{ €}$$

$$1 \text{ L} - x$$

$$x = 0,75329 / 1,130 = 0,6666 \text{ €}$$

Aktsiisimäär FAMEL sama, mis diislikütusel [23]

$$1000 \text{ L} - 493 \text{ € ()}, 1 \text{ Liitrile } 0,493 \text{ €};$$

$$0,6666 + 0,493 = 1,1596 \text{ €} + \text{käibemaks } 20\%$$

$$1,1596 * 0,2 = 0,23192; 1,1596 + 0,23192 = 1,3915 \text{ €}$$

Reaalsel kütuseturul konkreetsetes turutingimustes keegi üle min nõude biokütuseid lisama ei hakka, sest hinnakonkurents ei anna selleks võimalust.

Autor esitab diislikütuste lõpphinna kujunemise esimese ja teise põlvkonna biokütuste lisamise nõuetest lähtuvalt (direktiiv)

3.4.2 Taimeõlist toodetud HVO kasutamise hinna analüüs

Kui biokütus on toodetud taimeõlist (mitte jääkidest ja jäätmetest), siis direktiiv näeb ette min 6,4 % biokütuseid fossiilses kütuses energiasisalduse järgi, mis tähendab, et diislikütus peab sisaldama min 0,5% 2. põlvkonna biokütust ja 5,9% 1. põlvkonna biokütust.

Arvutame 2. põlvkonna biokütuse energiasisalduse osakaaluks min nõutud koguse 6,4% (DK = 36 MJ/l), siis

$$36 * 0,064 = 2,304 \text{ MJ biokütuste osa}$$

$$2. \text{ põlvkonna HVO min } 0,5\% \text{ ja } 1. \text{ põlvkonna FAME } 5,9\% \text{ (kokku } 6,4\%)$$

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,059 = 2,124$$

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,05 = 0,18$$

$$\text{FAME } 2,124 / 33 = 0,06436 \text{ L} = 64,36 \text{ ml}; \text{ vt Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldused, Lisa kus on esitatud DK - } 36 \text{ MJ/l, FAME - } 33 \text{ MJ/l, HVO - } 34 \text{ MJ/l.}$$

$$\text{HVO } 0,18 / 34 = 0,0052941 \text{ L} = 5,29 \text{ ml}$$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$\text{DK} = 1000 - (64,36 + 5,29) = 1000 - 69,65 = 930,35 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$930,35 - x$$

$$x = 930,35 * 1,419/1000 = 1,3202 \text{ €}$$

FAME* hinnalisa

$$1000 \text{ ml} - 1,392 \text{ €}$$

$$64,36 - x$$

$$X = 64,36 * 1,392/1000 = 0,08959 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO 1 L hind } 1,419 + 0,50 = 1,919 \text{ € (Kuuse, 2019)}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,919$$

$$5,29 - x$$

$$x = 5,29 * 1,919/1000 = 0,01015 \text{ €}$$

Arvutame hinnalisa 2. põlvkonna HVO 1,0% ja 1. põlvkonna FAME 5,4% (kokku 6,4%)

$$\text{FAME osakaal } 0,054 * 36 = 1,944$$

$$\text{HVO osakaal } 2,304 - 1,944 = 0,36$$

$$\text{FAME } 1,944/33 = 0,05891 \text{ L} = 58,91 \text{ ml};$$

$$\text{HVO } 0,36/34 = 0,01059 \text{ L} = 10,59 \text{ ml}$$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$\text{DK} = 1000 - (58,91 + 10,59) = 1000 - 69,50 = 930,5 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$930,5 - x$$

$$x = 930,5 * 1,419/1000 = 1,3204 \text{ €}$$

FAME hinnalisa

$$1000 \text{ ml} - 1,3915 \text{ €}$$

$$58,91 - x$$

$$X = 58,91 * 1,392/1000 = 0,08200 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO 1 L} - 1,919 \text{ €}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,919$$

$$10,59 - x$$

$$x = 10,59 * 1,919 / 1000 = 0,02032 \text{ €}$$

HVO osakaal 1,4% ja FAME osakaaluks võtame 5,0% koguenergiast

$$36 * 0,064 = 2,304 \text{ MJ}$$

$$36 * 0,05 = 1,80$$

$$36 * 0,014 = 0,504$$

$$\text{FAME on } 1,8 / 33 = 0,0545 \text{ L} = 54,54 \text{ ml}$$

$$\text{HVO on } 0,504 / 34 = 0,01482 \text{ L} = 14,82 \text{ ml}$$

$$\text{DK} = 1000 - (54,54 + 14,82) = 1000 - 69,36 = 930,64 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$930,64 - x$$

$$x = 930,64 * 1,419 / 1000 = 1,3206 \text{ € (Diislikütuse hinnaks võeti 18.04.2019 Neste tankla diislikütuse müügihind 1,419 €)}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO 1 L} - 1,919 \text{ €}$$

$$1,919 - 1000 \text{ ml}$$

$$x - 14,82 \text{ ml}$$

$$x = 1,919 * 14,82 / 1000 = 0,02843 \text{ €}$$

FAME hinnalisa diislikütusele

$$- 1,3915 \text{ €}$$

$$54,54 \text{ ml} - x$$

$$X = 54,54 * 1,3915 / 1000 = 0,07589 \text{ €}$$

Arvutame hinnalisa 2. põlvkonna HVO 2,5% ja 1. põlvkonna FAME 3,9 %

$$36 * 0,025 = 0,9$$

$$36 * 0,039 = 1,404$$

$$\text{FAME on } 1,404 / 33 = 0,042545 \text{ L} = 42,55 \text{ ml}$$

$$\text{HVO on } 0,9 / 34 = 0,02647 \text{ L} = 26,47 \text{ ml}$$

$$\text{DK} = 1000 - (42,55 + 26,47) = 1000 - 69,02 = 930,98 \text{ ml}$$

1000 ml – 1,419 €

930,98 – x

$x = 930,98 * 1,419 / 1000 = 1,32106$ € (Diislikütuse hinnaks võeti 18.04.2019 Neste tankla diislikütuse müügihind 1,419 €

HVO hinnalisa

HVO 1 L - 1,919 €

1,919 - 1000 ml

x - 26,47 ml

$x = 1,919 * 26,47 / 1000 = 0,05080$ €

FAME hinnalisa diislikütusele

- 1,3915 €

42,55 ml - x

$X = 42,55 * 1,3915 / 1000 = 0,059208$ €

HVO 5% ja FAME 1,4% koguenergiast

Arvutame 6,4% $36 * 0,064 = 2,304$

FAME osakaal $36 * 0,014 = 0,504$

HVO osakaal $36 * 0,05 = 1,8$

$1,8 / 34 = 0,05294$ L = 52,94 ml HVO

$0,504 / 33 = 0,015272$ L = 15,27 ml FAME

$DK = 1000 - (52,94 + 15,27) = 1000 - 68,21 = 931,79$ ml

DK hind

1000 ml – 1,419 €

931,79 ml – x

$X = 931,79 * 1,419 / 1000 = 1,3222$

HVO hinnalisa diislikütusele

1000 ml – 1,919 €

1,8 ml – x

$x = 52,94 * 1,919 / 1000 = 0,10159$ €

FAME hinnalisa diislikütusele

1000 ml – 1,3915 €

$$15,27 - x$$

$$X = 15,27 * 1,3915 / 1000 = 0,02125 \text{ €}$$

HVO 6% ja FAME 0,4% koguenergiast

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,004 = 0,144$$

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,06 = 2,16$$

$$2,16 / 34 = 0,0635 \text{ L} = 63,53 \text{ ml HVO}$$

$$0,144 / 33 = 0,004363 \text{ L} = 4,36 \text{ ml FAME}$$

$$\text{DK} = 1000 - (63,53 + 4,36) = 1000 - 67,89 = 932,11 \text{ ml}$$

DK hind

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$932,11 \text{ ml} - x$$

$$X = 932,14 * 1,419 / 1000 = 1,3227$$

HVO hinnalisa diislikütusele

$$1000 \text{ ml} - 1,919 \text{ €}$$

$$63,53 - x$$

$$x = 63,53 * 1,919 / 1000 = 0,12191 \text{ €}$$

FAME hinnalisa diislikütusele

$$1000 \text{ ml} - 1,3915 \text{ €}$$

$$4,36 - x$$

$$X = 4,36 * 1,3915 / 1000 = 0,006066 \text{ €}$$

Tabel 3.8 Diislikütuste lõpphinnad biokütuste osakaaluga 6,4% kogu energiamahust arvestades (Hinnad 18.04.2019)

HVO, 2.põlvkond sisaldus, ml	FAME, 1.põlvkond sisaldus, ml	Diislikütuse sisaldus, ml	DK, 1,419 €/liiter	HVO hinnalisa, €	FAME hinnalisa, €	Lõpphind, €/liiter
5,29 (0,5%)	64,36 (5,9%)	930,35	1,3202	0,01015	0,08959	1,419

Tabeli 3.8 järg

HVO, 2.põlv- kond sisaldus, ml	FAME, 1.põlvkond sisaldus, ml	Diislikü- tuse sisal- dus, ml	DK, 1,419 €/liiter	HVO hinna- lisa, €	FAME hinna-lisa, €	Lõpp- hind, €/liiter
10,59 (1,0%)	58,91 (5,4%)	930,50	1,3204	0,02032	0,08200	1,422
14,82 (1,4%)	54,54 (5,0%)	930,64	1,3206	0,02844	0,07589	1,425
26,47 (2,5%)	42,55 (3,9%)	930,98	1,3211	0,05080	0,05921	1,431
52,94 (5,0%)	15,27 (1,4%)	931,79	1,3222	0,10159	0,02125	1,442
63,53 (6,0%)	4,36 (0,4%)	932,11	1,3227	0,12191	0,00607	1,450

3.4.3 Jääkidest toodetud HVO kasutamisel tekkiv hinna analüüs

Kui biokütus on toodetud jääkidest või jäätmetest, siis läheb HVO kogus energiasisalduse järgi arvesse kahekordselt. See tähendab, et kuigi 2. põlvkonna biokütuse osakaal peab olema 0,5% energia järgi, siis tegelikult on teda 0,25% energia järgi (direktiiv võimaldab 2. põlvkonna biokütustel energiasisaldust kahekordsena arvesse võtta).

Seega 2. põlvkonna HVO min 0,25% (loetakse 0,5%) ja 1. põlvkonna FAME 5,9% (kokku $0,5 + 5,9\% = 6,4\%$)

$$\text{HVO osakaal } 36 \cdot 0,025 = 0,09$$

$$\text{FAME osakaal } 36 \cdot 0,059 = 2,124$$

$$0,09/34 = 0,002647 \text{ L} = 2,65 \text{ ml HVO}$$

$$\text{FAME } 2,124/33 = 0,06436 \text{ L} = 64,36 \text{ ml; vt Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldused, Lisa kus on esitatud DK - 36 MJ/l, FAME - 33 MJ/l, HVO - 34 MJ/l.}$$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$\text{DK} = 1000 - (64,36 + 2,65) = 1000 - 67,01 = 932,99 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$932,99 - x$$

$$x = 932,99 \cdot 1,419/1000 = 1,3239 \text{ €}$$

FAME* hinnalisa (FAME hinna arvutus allpool)

1000 ml - 1,392 €

64,36 - x

$$X = 64,36 * 1,392 / 1000 = 0,08959 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

HVO 1 L hind 1,419 + 0,50 = 1,919 € (Kuuse, 2019)

1000 ml – 1,919

2,65 - x

$$x = 2,65 * 1,919 / 1000 = 0,00508 \text{ €}$$

2. põlvkonna HVO min 0,5% (loetakse 1,0%) ja 1. põlvkonna FAME 5,4% (kokku loetakse 6,4%)

HVO osakaal $36 * 0,05 = 0,18$

FAME osakaal $36 * 0,54 = 1,944$

FAME $1,944 / 33 = 0,05891 \text{ L} = 58,91 \text{ ml}$; vt Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldused, Lisa kus on esitatud DK - 36 MJ/l, FAME - 33 MJ/l, HVO - 34 MJ/l.

HVO $0,18 / 34 = 0,0052941 \text{ L} = 5,29 \text{ ml}$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$DK = 1000 - (58,91 + 5,29) = 1000 - 64,20 = 935,80 \text{ ml}$$

1000 ml – 1,419 €

935,80 – x

$$x = 935,80 * 1,419 / 1000 = 1,3279 \text{ €}$$

FAME* hinnalisa (FAME hinna arvutus allpool)

1000 ml - 1,3915 €

58,91 - x

$$X = 58,91 * 1,3915 / 1000 = 0,08197 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

HVO 1 L hind 1,419 + 0,50 = 1,919 € (Kuuse, 2019)

1000 ml – 1,919

$$5,29 - x$$

$$x = 5,29 * 1,919 / 1000 = 0,01015 \text{ €}$$

2. põlvkonna HVO min 0,75% (loetakse 1,5%) ja 1. põlvkonna FAME 4,9% (kokku loetakse 6,4%)

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,075 = 0,27$$

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,049 = 1,764$$

$$\text{FAME } 1,764 / 33 = 0,05345 \text{ L} = 53,45 \text{ ml}$$

$$\text{HVO } 0,27 / 34 = 0,007941 \text{ L} = 7,94 \text{ ml}$$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$\text{DK} = 1000 - (53,45 + 7,94) = 1000 - 61,39 = 938,61 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$938,61 - x$$

$$x = 938,61 * 1,419 / 1000 = 1,3319 \text{ €}$$

FAME* hinnalisa (FAME hinna arvutus allpool)

$$1000 \text{ ml} - 1,3915 \text{ €}$$

$$53,45 - x$$

$$X = 64,36 * 1,3915 / 1000 = 0,07438 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO 1 L hind } 1,419 + 0,50 = 1,919 \text{ €}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,919$$

$$7,94 - x$$

$$x = 7,94 * 1,919 / 1000 = 0,01524 \text{ €}$$

Arvutame hinnalisa 2. põlvkonna HVO 1,0% (loetakse 2%) ja 1. põlvkonna FAME 4,4%

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,01 = 0,36$$

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,044 = 1,584$$

$$\text{FAME } 1,584 / 33 = 0,04800 \text{ L} = 48,00 \text{ ml};$$

$$\text{HVO } 0,36 / 34 = 0,01059 \text{ L} = 10,59 \text{ ml}$$

Diislikütuse kogus ja hind segus:

$$DK = 1000 - (48 + 10,59) = 1000 - 58,59 = 941,41 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$941,41 - x$$

$$x = 941,41 * 1,419/1000 = 1,3359 \text{ €}$$

FAME hinnalisa

$$1000 \text{ ml} - 1,3915 \text{ €}$$

$$48,00 - x$$

$$X = 48,00 * 1,3915/1000 = 0,06679 \text{ €}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO } 1 \text{ L} - 1,919 \text{ €}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,919$$

$$10,59 - x$$

$$x = 10,59 * 1,919/1000 = 0,02032 \text{ €}$$

Arvutame hinnalisa 2. põlvkonna HVO 2,5% (loetakse 5,0%) ja 1. põlvkonna FAME 1,4%

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,0025 = 0,9$$

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,0014 = 0,504$$

$$\text{HVO on } 0,9/34 = 0,02647 \text{ L} = 26,47 \text{ ml}$$

$$\text{FAME on } 0,504/33 = 0,01527 \text{ L} = 15,27 \text{ ml}$$

$$DK = 1000 - (26,47 + 15,27) = 1000 - 41,74 = 958,26 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$958,26 - x$$

$$x = 958,26 * 1,419 / 1000 = 1,3597 \text{ €} \text{ (Diislikütuse hinnaks võeti 18.04.2019 Neste tankla diislikütuse müügihind 1,419 €)}$$

HVO hinnalisa

$$\text{HVO } 1 \text{ L} - 1,919 \text{ €}$$

$$1,919 - 1000 \text{ ml}$$

$$x - 26,47 \text{ ml}$$

$$x = 1,919 * 26,47 / 1000 = 0,05080 \text{ €}$$

FAME hinnalisa diislikütusele

$$- 1,3915 \text{ €}$$

$$15,27 \text{ ml} - x$$

$$X = 15,27 * 1,3915 / 1000 = 0,02125 \text{ €}$$

Arvutame hinnalisa 2. põlvkonna HVO 3% (loetakse 6,0%) ja 1. põlvkonna FAME 0,4%

$$\text{HVO osakaal } 36 * 0,03 = 1,08$$

$$\text{FAME osakaal } 36 * 0,004 = 0,144$$

$$\text{HVO on } 1,08 / 34 = 0,03176 \text{ L} = 31,76 \text{ ml}$$

$$\text{FAME on } 0,144 / 33 = 0,00436 \text{ L} = 4,36 \text{ ml}$$

$$\text{DK} = 1000 - (31,76 + 4,36) = 1000 - 36,12 = 963,88 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} - 1,419 \text{ €}$$

$$963,88 - x$$

$$x = 963,88 * 1,419 / 1000 = 1,3677 \text{ €} \text{ (Diislikütuse hinnaks võeti 18.04.2019 Neste tankla diislikütuse müügihind 1,419 €)}$$

HVO hinnalisa

$$1 \text{ L} - 1,919 \text{ €}$$

$$1,919 - 1000 \text{ ml}$$

$$x - 31,76 \text{ ml}$$

$$x = 1,919 * 31,76 / 1000 = 0,06095 \text{ €}$$

FAME hinnalisa diislikütusele

$$- 1,3915 \text{ €}$$

$$4,36 \text{ ml} - x$$

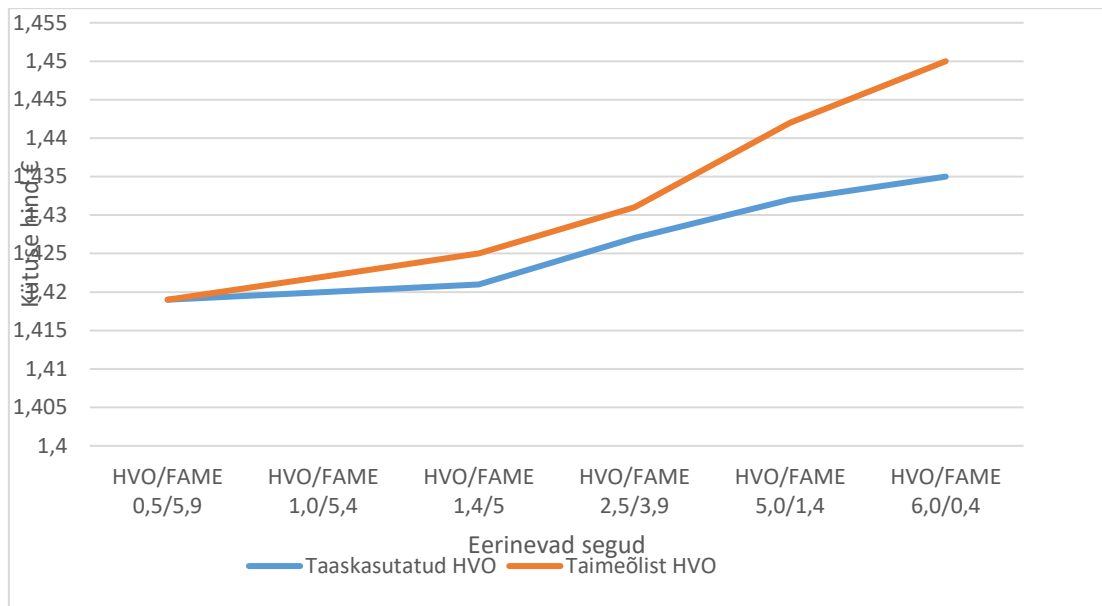
$$X = 4,36 * 1,3915 / 1000 = 0,006067 \text{ €}$$

Hinnakalkulatsioonid on esitatud tabelis 3.9

Tabel 3.9 Diislikütuste lõpphinnad biokütuste osakaaluga 6,4% kogu energiamahust arvestades, et 2.põlvkonna osakaal loetakse 2-kordseks (Hinnad 18.04.2019)

HVO, 2.põlvkond sisaldus, ml	FAME, 1.põlvkond sisaldus, ml	Diislikütuse sisaldus, ml	DK, 1,419 €/liiter	HVO hinna-lisa, €	FAME hinna-lisa, €	Lõpp-hind, €/liiter
2,65 (0,25%; loetakse 0,5%)	64,36 (5,9%)	932,99	1,3239	0,00508	0,08959	1,419
5,29 (0,5%; loetakse 1,0%)	58,91 (5,4%)	935,80	1,3279	0,01015	0,08197	1,420
7,4 (0,7% ; loetakse 1,4%)	54,5 (5%)	938,1	1,3311	0,01420	0,0758	1,421
13,23 (1,25%; loetakse 2,5%)	44,22 (3,9%)	941,41	1,340	0,02538	0,06153	1,427
26,47 (2,5%; loetakse 5%)	15,27 (1,4%)	958,26	1,3597	0,05080	0,02125	1,432
31,76 (3%; loetakse 6%)	4,36 (0,4%)	963,88	1,3678	0,06095	0,006067	1,435

Vastavalt antud tulemustele koostati Joonis 3.6 kust joonistub välja selgelt välja, et taaskasutatavatest toormetest HVO kasutamine on annab hinnakujunduse juures märgatava efekti.



Joonis3.6 Hinnakujunemine sõltuvalt tooraine valikust.

Kuuse,U. ProDiesel. K. Ritslaidi e-kirjavahetus. Tartu. 05.11.2018 ja 03.04.2019.

Biodiesel prices (SME & FAME)

USD/ton, data updated daily.

Dailyfigureisbased on last five (5) daysrollingaverage.

Apr 2019

Neste koduleheküljelt andmed biodiisli hindade kohta:

2019/04/04 FAME – 849 USD/t

SME (SoyaMethylEsther) biodiesel 814 USD/t.[22]

8.aprillil 2019 1,5 USD, Vene FV-Russia 0,69 Rbl [24]

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaaurusetöö eesmärgiks oli uurida fossiilse diislikütuse segamise võimalusi biokomponentidega energiasisalduse nõuetest lähtuvalt diislikütuse standardites esitatud kvaliteedinõuetele.

Bakalaureusetöö põhineb Vedelikütuse seaduse (vastu võetud 29.01.2003; RT I 2003, 21, 127) redaktsioonil 01.05.2018 pt.3 Nõuded kütusele ja nõuetele vastavus. Seaduse järgi peab iga kütuse liiter sisaldama energiamahu järgi alates 1. maist 2018 minimaalselt 3,1% biokütust; 1.aprillist 2019- 6,4% ja 1. jaanuarist 2020 – 10%.

Bakalaureuse töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis- kirjanduse ülevaates tuuakse ära biokütuste mõiste ja vaadeldakse biokütuseid, mida komponentidena fossiilsetele kütustele on võimalik lisada.

Teises peatükis seadusandlus ja kirjeldatakse etanoolkütuseid bensiinimootoritega sõidukitele ja kompressioonmootoritega sõidukitele. Seejärel biodiisli ja HVO (*Hydrotreated vegetable Oil*) ja *Fischer-Tropsch Biomass to Liquid* (BTL) biokütuseid.

Kolmas peatükk on eksperimentaalne osa, milles alustatakse katsesegude teoreetilise käsitlemisega. Projektitöös arvutati ja analüüsiti biokomponentidega diislikütuste koostamise segusid energiasisalduse nõutest lähtuvalt. Katsekütusteks olid: 1) fossiilne Neste EVS-EN 228:2012 nõuetele vastav diislikütus (ilma etanooli lisandita); 2) diislikütus GOST 32511-2013 nõuetele vastav ökoloogiline diislikütus K5 (väävlisisaldusega kuni 10 mg/kg kohta; 3) HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*), NESTE RENEWABLE DIESEL (HVO), vastab EN 15940:2016 parafiinse diislikütusele esitatud nõuetele, 2. põlvkonna biokütus); 4) FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*, rapsmetüülestrid. 1. põlvkonna biokütus EVS-EN 14214: 2013 nõuetele vastav.

Biokütuse segude katsetused baseerusid arvutustel, mis põhinesid Majandus- ja taristuministri 27.04.2018 määrusel nr 21 „Koguenergia arvutamise meetod ning kütuse ja biokütuse energiasisaldus“ ning selle Lisal „Transpordis kasutatava kütuse energiasisaldus“ järgi kokku segatavate komponentide mahu%id kogu energiamahust lähtuvalt.

Arvutustest ja laboratoorsetest katsetustest tulenes, et määravaks näitajaks biokomponente sisaldavate diislikütuste segude valmistamisel jäi tihedus.

Bakalaureuse töö eesmärgi saavutamiseks sooritati kütuselaboris katsed kahe diislikütuse ja nelja kütuseseguga ning leiti nende parameetrid. Laborikatsete tulemustest tehti erinevaid järeldusi diislikütuste ja nende segude kütuseparameetrite vahel. Järeldati, et mida madalam on kütuse tihedus, seda madalamad on ka destillatsiooni temperatuurid, sarnasele järeldusele jõuti ka HVO komponenti sisalduvatest diislikütusesegudest saadud parameetritest. Madalama destillatsiooni lõpptemperatuuriga HVOd sisaldavatel segudel oli ka leekpunkt madalam kui fossiilsetel diislikütusel.

Vene Föderatsioonist Pihkvast ostetud diislikütuse analüüsiga ja spetsiaalselt Neste OY-lt saadud diislikütuseid kasutati eksperimendis seetõttu, et bakalaureusetöö teostamise ajal Eestis enam tanklates müügil ilma biolisandite sisalduseta diislikütust enam ei olnud. Kui poliitilised suhted naaberriikide Venemaa ja Eesti vahel paraneksid ja edaspidi ka Euronõuetele vastav Vene kütus K5 Eesti turule tuleks, saaks seda edukalt segada biolisanditega. Euronõuetele vastavust kontrolliti väävlisisalduse analüüsiga Analiit OÜ kütuselaboris, milleks saadi 5,1 mg/kg kohta (norm 10 kg/kg) (Lisa G).

Katsetuste tulemused näitasid, et Neste diislikütus oli suvine külmafiltri ummistumispunktiga max -5 °C, Pihkva kütus GOST DK K5 üleminekuperioodiks valmistatud kütus kasutamiseks kuni -15 °C. Nende kütuste fraktsioonkoostisest lähtuvalt on diislikütustesse segatavad biokütuste osaprotsendid erinevad. Talvisemasse Pihkva kütusesse on võimalik vähem 2. põlvkonna HVOd lisada, sest suvediislikütuse tihedus langeb alla min lubatud normi 820 kg/m³ kohta. Siit saab teha üldise järelduse, et suvistesse suurema tihedusega kütustesse saab rohkem HVOd lisada. Talviste fossiilsetele mootorikütustele on kergem suuremaid mahuprotsente biokomponenti juurde lisada, sest tiheduse alumine piir on 800 kg/m³ ja HVO ise omab väga head külmakindlust. Tema külma filtri ummistumispunkt on -35 °C juures. Neste kütusesesegu 1. põlvkonna FAME lisamine tõstab küll keemistemperatuuride lõpptemperatuure, kuid HVO juurde lisamine omakorda vähendab oluliselt raskeid fraktsioone segus ja alandab seega ikkagi keemise lõpptemperatuuri (vt võrdlustabelit – Lisa E). Puhastel diislikütustel 90 mahu% aurustunud vastavalt GOST DK K5 333 °C, Neste DK 334 °C, HVO 288 °C; Biokütuse 40% energiamahus segudel vastavalt 323 °C ja keemise lõpptemperatuurid T95 vastavalt GOST DK 345 °C ja Neste DK 350 °C, kusjuures 40% segu tiheduseks saadi 820,1 kg/m³.

HVO juurde lisamise plussid on veel need, et paranevad diiselmootori käivitusomadused ja ka mootori jõudlus [14]. Seda näitavad fraktsioonkoostise ja tiheduse põhjal arvutuslikud tsetaaniindeksid Neste DK 51,3, GOST DK 53 ja 40% energiamahus kütusel 61,9.

Kõik meie katsetustes saadud tulemused kinnitasid seda: tsetaaniindeks >55, fraktsioonkoostise T90 mahu% ja T95 mahu%: Segu 40% puhul 323 °C ja 341 °C on täidetud (nõuded vastavalt 320 °C ja 340 °C).

Tsetaaniindeksid olid HVO ja diislikütuste segudel kõrgemad, mis näitab, et antud kütusega peaks auto mootor töötama vaikselt ning käivituma paremini kui fossiilse diislikütusega. Tsetaaniindeks oli Neste DK 51,3, GOST DK diislikütusel 53,0, biokütused energiamahus 30% segu 58,4, 40% 61,9; 45% 63,5; 50%- 65,8.

Antud lõputöös uuriti ka veesisaldust kütuses, kasutades Karl Fischer kulonomeetrilise tiitrimise meetodit. Selgus, et mõlema kütuse veesisaldused jäid normi piiridesse, Neste diislikütusel 19 mg/kg ja GOST DK K5 28 mg/kg.

Hinnakujunemise arvutuste käigus võeti arvesse küttesegud, mis laboratoorsete katsetuste tarvis kokku segati. Neist nõudeist järeldasime et maksimaalne HVO hulk koos 7% FAMEga on 40%. Sellise kütusesegu hind kujuneb B7 kütusest 0,17€ kallimaks. Hetkel Neste tanklates müügil olev ProDiesel, kus HVO sisaldusega ca 20% on 0,08€ kallim. Seega tulenevalt karmist konkurentsist 40% HVO sisaldusega kütuse klientide arv oleks marginaalne.

Bakalauruse töös arvutati ka välja diislikütuse lõpphinna kujunemine esimese ja teise põlvkonna biokomponentide nõuetest tulenevalt. Kui minimaalne biokomponentide osakaal on 6,4% kogu energiamahust, siis on parima võimaliku hinna saavutamiseks kasutada esimese põlvkonna FAMEt ja teise põlvkonna HVOd vahekorras 5,9%/0,5%. Vastupidine 0,4%/6% vahekord on küll automootorile palju kasulik, kuid hind muutub 0,016€ taaskasutatud toormest HVO lisamisel või lausa 0,031€ taimeõlist valmistatud HVO lisamisel. Seega, mida suuremaks muutub teise põlvkonna HVO lisamise nõue seda rohkem hakkab diislikütus tanklates maksma.

Bakalaureuse töö alusel saab jälgida tulevikus diiselmootorikütuste hinna trende.

SUMMARY

The aim of this Bachelor's thesis was to study the possibilities of mixing fossil diesel with bio-components based on energy content requirements based on the quality requirements of diesel standards.

Bachelor's thesis is based on the Law on Liquid Fuel Act (passed 29.01.2003; RT I 2003, 21, 127) 01.05.2018 pt.3 Requirements for fuel and compliance. By law, from 1 May 2018, each liter of fuel must contain at least 3.1% of biofuel by energy content; April 1, 2019- 6.4%, and January 1, 2020 - 10%. The bachelor work consists of three chapters. The first review of the literature outlines the concept of biofuels and looks at the biofuels that can be added as components to fossil fuels.

In Chapter 2, legislation and describes ethanol fuels for petrol-powered vehicles and compression-ignition engines. Then biodiesel and HVO (Hydrotreated vegetable oil) and Fischer-Tropsch Biomass to Liquid (BTL) biofuels. The third chapter is an experimental part that begins with the theoretical behavior of test mixtures. In the project work, the blends of compiling diesel fuels with bio-components were calculated and analyzed on the basis of energy content requirements. Test fuels were: 1) fossil diesel fuel complying with the requirements of EVS-EN 228: 2012 (without addition of ethanol); 2) Diesel fuel GOST 32511-2013 compliant ecological diesel fuel K5 (with sulfur content up to 10 mg / kg; 3) HVO (Hydrotreated Vegetable Oil), NESTE RENEWABLE DIESEL (HVO) according to EN 15940: 2016 paraffinic diesel requirements , 2nd generation biofuel); 4) FAME (Fatty Acid Methyl Esters, rape methyl esters. 1st generation biofuel meeting the requirements of EVS-EN 14214: 2013. Testing of biofuel blends was based on calculations based on Economy and Infrastructure Regulation No. 21 of 27.04.2018 "Total Energy Calculation Method and Fuel and Biofuel Energy Content" and its Volume% Id of Total Energy Volume for Total Blending Components in the Appendix "Transport Fuel Energy". in the light of this.

In order to achieve the goal of undergraduate work, tests were carried out in the fuel laboratory with two diesel and four fuel mixtures and their parameters were found. From the results of the laboratory tests, different conclusions were drawn between the fuel parameters of diesel fuels and their mixtures. It was concluded that the lower the fuel density, the lower the distillation temperatures, the similar conclusion was reached with the parameters from the diesel fuel blends contained in the HVO component. Mixtures containing low distillation

end temperature HVO also had a flash point lower than fossil diesel. Diesel fuel purchased from the Russian Federation in Pskov and diesel produced specifically by Neste OY were used in the experiment because there was no longer any diesel fuel available at petrol stations without the addition of bio-additives during the Bachelor's thesis. If political relations between neighboring Russia and Estonia were to improve and future Euro-compliant Russian fuel K5 were to be placed on the Estonian market, it could be successfully mixed with bio-additives. Compliance with the Euro requirements was verified by the sulfur content analysis at Analiit OÜ Fuel Cell, which was obtained at 5.1 mg / kg (norm 10 kg / kg) (Annex G).

The results of the tests showed that Neste's diesel fuel was clogged at max -5 °C in summer, Pihkva fuel GOST DK K5 made up to -15 °C for the transition period. Depending on the fraction composition of these fuels, the percentage of biofuels blended into diesel fuels varies. It is possible to add less 2nd generation NGOs to the winter fueled Pihkva fuel because the summer fuel density drops below the permissible standard of 820 kg / m³. Here's a general conclusion that more HVOs can be added to the higher-density fuels in the summer. For winter fossil fuel fuels, it is easier to add larger percentages to the bio component because the lower density limit is 800 kg / m³ and HVO itself has a very good frost resistance. Its cold filter clogging point is -35 °C. The addition of liquid fuel mixture 1st generation FAME increases the final temperatures of boiling temperatures, but addition of HVO in turn significantly reduces heavy fractions in the mixture and thus still lowers the final boiling temperature (see comparison table - Appendix E). 90% by volume of pure diesel fuel evaporated according to GOST DK K5 333 °C, Neste DK 334 °C, HVO 288 °C; The biofuel 40% energy mix blends at 323 °C and boiling T95 at GOST DK 345 °C and Neste DK 350 °C respectively, with a 40% blend density of 820.1 kg / m³. The added benefits of incorporating HVO are also to improve diesel engine start-up performance as well as engine performance [14]. This is shown by the calculated cetane indices Neste DK 51.3, GOST DK 53 and 40% energy 61.9 by fraction composition and density.

All the results obtained in our tests confirmed this: cetane index > 55%, fraction of T90 fraction fraction and T95 volume%: 40% 323 °C and 341 °C mixture (requirements 320 and 340 °C, respectively).

Cetane indices were higher on mixtures of HVO and diesel, which indicates that with this fuel the car engine should work quieter and start better than fossil diesel. The cetane index was Neste DK 51.3, GOST DK diesel 53.0, biofuels energy content 30% mixture 58.4, 40% 61.9; 45% 63.5; 50% to 65.8.

Water content in fuel using Karl Fischer coulometric titration method was also studied in this thesis. It was found that the water content of both fuels remained within the normal range, with Neste diesel fuel 19 mg / kg and GOST DK K5 28 mg / kg.

In the course of pricing calculations, the heating mixtures that were mixed for laboratory testing were taken into account. From this requirement we concluded that the maximum amount of HVO with 7% FAME is 40%. The price of such a fuel mix will be 0.17 € more expensive than B7 fuel. ProDiesel, currently available at Neste filling stations, with a HVO content of about 20% is 0.08 € more expensive. Therefore, due to tough competition, the number of fuel customers with a 40% HVO content would be marginal.

In the course of pricing calculations, the heating mixtures that were mixed for laboratory testing were taken into account. From this requirement we concluded that the maximum amount of HVO with 7% FAME is 40%. The price of such a fuel mix will be 0.17 € more expensive than B7 fuel. ProDiesel, currently available at Neste filling stations, with a HVO content of about 20% is 0.08 € more expensive. Therefore, due to tough competition, the number of fuel customers with a 40% HVO content would be marginal. Bachelor's thesis also calculated the formation of the final price of diesel fuel due to the requirements of the first- and second-generation bio-components. If the minimum bio-component weight is 6.4% of the total energy, the first-generation FAME and second-generation NGOs will be used at a rate of 5.9% / 0.5% to achieve the best price possible. The opposite 0.4% / 6% ratio is much more useful for a car engine, but the price changes by adding 0.016€ of recycled raw materials to HVO or even 0.031€ when adding HVO made from vegetable oil. Thus, the higher the requirement for the inclusion of second-generation HVO, the more diesel fuel will pay at filling stations.

Under the Bachelor's Thesis you can follow the future trend of diesel engine fuel prices

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Euroopa Liidu Teataja. 2009. EUROOPA PARLAMENDI JA NÕUKOGU DIREKTIIV, 23. aprill 2009. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF> (22.02.2019)
2. Riigi Teataja, Vedelkütuse seadus. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/115032019015?leiaKehtiv> (13.05.2019)
3. Standard EVS-EN 15940-2016 Automotive fuels – Parafin diesel fuel from synthesis or hydrotreatment. – Requirements and test methods. [Võrgumaterjal] Kättesaadav <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15940-2016> (13.05.2019)
4. Standard EVS-EN 14214-2012+al-2014-ac-2014 Vedelad Naftasaadused. Rasvhapete metüülestrid (FAME) diiselmootoritele või kütteseadmetele. Nõuded ja katsemeetodid. [Võrgumaterjal] Kättesaadav <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-14214-2012+a1-2014-ac-2014> (13.05.2019)
5. Standard EVS-EN 590-2013+al+na-2017 Mootorikütused. Diislikütus. Nõuded ja katsemeetodid. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-590-2013+a1+na-2017> (13.05.2019)
6. Riigi Teataja, Atmosfääriõhu kaitse seadus §120. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/105072016001> (13.05.2019)
7. Energiatalgud. Biokütused. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://energiatalgud.ee/index.php/K%C3%BCtused?menu-60#Biok.C3.BCtused> (13.05.2019)
8. EU parlamendi uuringukeskus. Biomass for electricity and heating: opportunities and challenges. Lehekülg 2. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568329/EPRS_BRI\(2015\)568329_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568329/EPRS_BRI(2015)568329_EN.pdf) (31.01.2019)

9. S, V, Singh, Z, Ming, P, S, Fennel, N, Shah, E, J, Anthony. (2017). Progress in bio-fuel production from gasification. Progress in Energy and Combustion Science. Volume 61. Leheküljed 189-248. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036012851630106X> (13.05.2019)
10. Wikipedia. Bioetanool. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://et.wikipedia.org/wiki/Bioetanool> (13.05.2019)
11. AMTEL Biokomponendiga B10 kütuse kasutamine. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.amtel.ee/e10-2/> (13.05.2019)
12. Wikipedia Common ethanol fuel mixtures. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: https://en.wikipedia.org/wiki/Common_ethanol_fuel_mixtures (13.05.2019)
13. Biodiisel [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/30198/biodiisel.html> (14.05.2019)
14. Neste Renewable Diesel Handbook. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: https://www.neste.us/sites/neste.com/files/attachments/neste_renewable_diesel_handbook.pdf (14.05.2019)
15. A. European, „Worldwide Fuel Charter Fifth Edition“ september 2013. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: https://www.acea.be/uploads/publications/Worldwide_Fuel_Charter_5ed_2013.pdf (14.05.2019)
16. Energiatalgud Kütused. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://energiatalgud.ee/index.php/K%C3%BCtused?menu-60> (14.05.2019)
17. Riigi Teataja Koguenergia arvutamise meetod. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.riigiteataja.ee/akt/104052018020> (14.05.2019)
18. Standard EVS-EN 228-2012-na-2017 Mootorikütused Bensiin Nõuded ja katsemeetodika. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-228-2012-na-2017> (14.05.2019)
19. Standard CEN-TS-15293-2011 Mootorikütused. Etanool (E85). Nõuded ja Katsemeetodid. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/cen-ts-15293-2011> (14.05.2019)
20. Standard EVS-EN 15376-2015 Mootorikütused. Etanool mootoribensiini segukomponendina. Nõuded ja katsemeetodid. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-15376-2015> (14.05.2019)
21. Mootorikütuse hinda mõjutavad tegurid. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: https://m.circelek.ee/cs/Satellite/EE1/et_EE/pg1334072938478/ariklient/mootorik%C3%BCtu-

- sed/Hinnakujundus.html?c=Page&childpagename=EE1%2FLa-yout&cid=1334072938478&d=Touch&lang=et_EE&packedargs=lang&page-name=EE1Wrapper&sitepfx=EE1&sitepfx=EE1 (19.04.2019)
22. Fame hind Neste [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.neste.com/corporate-info/investors/market-data/biodiesel-prices-sme-fame-0> (19.04.2019)
 23. Maksu ja Tolliamet Aktsiisimäärad [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.emta.ee/et/ariklient/aktsiisid-vara-hasartmang/uldist/aktsiisimaarad> (19.04.2019)
 24. Global Petrol Prices Diisli hind Kättesaadav: https://www.globalpetrolprices.com/diesel_prices/ (08.04.2019)
 25. Determination of flash point- Pensky- Martens closed cup method (ISO 2719:2016) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-2719-2016> (14.05.2019)
 26. Kask, Ü. (2013) Biodiislikütuse tootmise ja kasutamise võimalused Eestis. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/c/%20c3/Kask%2C_%C3%9C._Biodiislik%C3%BCtuse_tootmise_ja_kasutamise_v%C3%B5imalused_Eestis.pdf (20.02.2019)
 27. Neste Prodiisel kodulehekülg [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.neste.ee/ee/prodiesel> (15.05.2019)
 28. Eesti Pank Valuutakursid [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.eestipank.ee/valuutakursid> (15.05.2019)
 29. Standard Test method for Free Water and Particulate Contamination in Distillate Fuels (Visual Inspection Procedures) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D4176-93R97.htm> (14.05.2019)
 30. Standard EVS-EN-ISO-3675-2006 Toornafta ja vedelad naftaproduktid. Laboratoorne tiheduse määramine. Areomeetiline meetod (ISO 3675:1998) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3675-2006> (14.05.2019)
 31. Standard EVS-EN-ISO3405-2011 Petroleum products- Determination of distillation characteristics at atmospheric pressure (ISO 3405:2011) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3405-2011> (14.05.2019)
 32. CANNON – Fenske Routine Viscometer. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.cannoninstrument.com/en/product/manual-glass-viscometers/cannon-fenske-routine-viscometer--CANNON%20CF-Routine%20GV> (15.05.2019)

33. Standard EVS-EN-ISO-3104-2000 Naftasaadused. Läbipaistvad ja läbipaistmatud vedelikud. Kinemaatilise viskoossuse määramine ja dünaamilise viskoossuse arvutamine (ISO 3104:2000) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-3104-2000> (14.05.2019)
34. Standard EVS-EN-ISO-2719-2016 Determination of flash point – Pensky- Martens Closed cup method (ISO 2719:2016) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-2719-2016> (14.05.2019)
35. Standard EVS-EN-ISO-2160-2000 Naftasaadused Korrodeeriv toime vasele. Vaskri-
bakatse (ISO 2160:2000) [Võrgumaterjal] Kättesaadav: [https://www.evs.ee/too-
ted/evs-en-iso-2160-2000](https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-2160-2000) (14.05.2109)
36. Standard EVS-EN-ISO-4264-2018 Petroleum products – Calculation of cetane index
of middle – distillate fuels by the four variable equation (ISO 4264:2018) [Võrguma-
terjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-4264-2018> (14.05.2019)
37. Standard EVS-EN-ISO-12937-2001 Petroleum products – Determination of water-
Coulometric Karl Fisher titration method. [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <https://www.evs.ee/tooted/evs-en-iso-12937-2001> (14.05.2019)
38. Bioetanool [Võrgumaterjal] Kättesaadav: <http://www.oil.fi/en/traffic/biofuels-traffic>
18.02.2019

LISAD

Lisa A. Kõrge oktaaniarvuga pliivabale mootoribensiinile maksimaalse hapnikusisaldusega 3,7% esitatud nõuded.

Bensiini üldnõuded hapnikusisaldusega 3,7 massi%			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	Max
Oktaaniarv uurimismeetodil, RON		95,0	
Oktaaniarv mootroimeetodil, MON		85,0	
Pliisisaldus	mg/l		5,0
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ²	720,0	775,0
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0
Mangaanisisaldus	mg/l		2,0
Oksüdatsioonistabiilsus	min	360	
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100ml		5
Korrosiivsus vaskplaadikatsel (3h temperatuuril 50°C)	klass	klass1	
Välimus		läbipaistev ja selge	
Süsivesinikesisaldus	mahu%		
alkeenid			18,0
aromaatsed süsivesinikud			35,0
Benseenisisaldus	mahu%		1,00
Hapnikusisaldus	massi%		3,7
Hapnikuühenditesisaldus	mahu%		
metanool			3,0
etanool			10,0
isopropüülalkohol			12,0
isobutüülalkohol			15,0
tertsiaarne butüülalkohol			15,0
eetrid (5 ja enama C-aatomiga)			22,0
muud hapnikuühendid			15,0

Lisa B 3 Kõrge oktaaniarvuga pliivabale mootoribensiinile maksimaalse hapnikusisaldusega 2,7% esitatud nõuded.

Bensiini üldnõuded hapnikusisaldusega 2,7 massi%			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Oktaaniarv uurimismeetodil, RON		95,0	
Oktaaniarv mootroimeetodil, MON		85,0	
Pliisisaldus	mg/l		5,0
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	720,0	775,0
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0
Mangaanisisaldus	mg/l		2,0
Oksüdatsioonistabiilsus	min	360	
Solvent-uhutud vaikude sisaldus	mg/100ml		5
Korrosiivsus vaskpladikatsel (3h temperatuuril 50°C)	klass	klass1	
Välimus		läbipaistev ja selge	
Süsivesinikesisaldus	mahu%		
alkeenid			18,0
aromaatsed süsivesinikud			35,0
Benseenisisaldus	mahu%		1,00
Hapnikusisaldus	massi%		2,7
Hapnikuühenditesisaldus	mahu%		
metanool			3,0
etanool			5,0
isopropüülalkohol			Sisaldus segudes on piiratud maksimaalse hapniku sisaldusega 2,7 massi%
isobutüülalkohol			
tertsiaarne butüülalkohol			
eetrid (5 ja enama C-aatomiga)			
muud hapnikuühendid			

Lisa C. Lenduvusklassid bensiinile

Tabel Lenduvusklassid bensiinile (Keskkonnaministri 20.12.2016 määruse nr.73 lisa 1, redaktsioon 14.10.2017)

Lenduvusklassid suveperioodil (1.mai - 30. september)				Lenduvusklassid talveperioodil (1.detsember - 1. märts)			
Näitaja	Mõõdühik	Nõue		Näitaja	Mõõdühik	Nõue	
		min	max			min	max
Aururõhk (DVPE)	kPa	45,0	70,0	Aururõhk (DVPE)	kPa	65,0	95,0
Temperatuuril 70°C aurustunud osa, E70	mahu%	20,0	48,0	Temperatuuril 70°C aurustunud osa, E70	mahu%	22,0	50,0
Temperatuuril 100°C aurustunud osa, E100	mahu%	46,0	71,0	Temperatuuril 100°C aurustunud osa, E100	mahu%	46,0	71,0
Temperatuuril 150°C aurustunud osa, E150	mahu%	75,0		Temperatuuril 150°C aurustunud osa, E150	mahu%	75,0	
Keemise lõpptemperatuur	°C		210	Keemise lõpptemperatuur	°C		210
Destillatsioonijääk	mahu%		2	Destillatsioonijääk	mahu%		2
Aurukuluindeks VLI	indeks			Aurukuluindeks VLI	indeks		E
(10VP + 7 E70)				(10VP + 7 E70)			
				Aurukuluindeks VLI	indeks		E1
				(10VP + 7 E70)			1200

Lisa D. Diislikütuse üldnõuded

Tabel Diislikütuse üldnõuded Keskkonnaministri määrus nr. 73 Lisa 2 14.10.2017 (redaktsioon 14.10.2017)

Diislikütuse üldnõuded			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
Tsetaaniarv		51,0	
Tsetaaniindeks		46,0	
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	820,0	845,0
Polütsükliiliste aromaatsete süsivesinike sisaldus	massi%		8,0
Väävlisisaldus	mg/kg		10,0
Mangaanisisaldus	mg/l		2,0
Leekpunkt	°C	>55,0	
10% destillatsioonijäägi koksiarv	massi%		0,30
Tuhasisaldus	massi%		0,010
Veesisaldus	% (m/m)		0,020
Tahkete osiste sisaldus	mg/kg		24
Korrosiivsus vaskplaadikatsel (3h temperatuuril 50°C)	klass	klass 1	
Rasvhapete metüülestriite (FAME) sisaldus	mahu%		7,0
Oksüdatsioonistabiilsus	g/m ³		25
	h	20	
Määrimisvõime, kulumisjälje diameeter (WSD) temperatuuril 60°C	µm		460
Viskoossus temperatuuril 40°C	mm ² /s	2,000	4,500
Destillatsiooni-karakteristikud			
250°C juures destilleerub	mahu%		<65
350°C juures destilleerub	mahu%	85	
95 mahu% destilleerub temperatuuril	°C		360

*Nõue esitatud Standardiga EVS-EN 590:2013+NA:2017

lisa D järg

Tabel Kliimast olenevad nõuded talve- ja suveperioodil. Keskkonnaministri määrus nr. 73

Lisa 2 14.10.2017 (redaktsioon 14.10.2017)

Kliimast olenevad nõuded talveperioodil			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
CFPP	°C, max		-26
Hägustumispunkt	°C, max		-16
Tihedus temperatuuril 15°C	kg/m ³	800,0	845,0
Viskoossus temperatuuril 40°C	mm ² /s	1,50	4,00
Tsetaaniarv (EL)	min	51,0	
Tsetaaniindeks	min	46,0	
Destillatsiooni-karakteristikud			
180°C juures destilleerub	mahu%		10
340°C juures destilleerub	mahu%	95	

Kliimast olenevad nõuded suveperioodil			
Näitaja	Mõõtühik	Nõue	
		min	max
CFPP	°C, max		-5

Lisa E Katsetulemuste koondtabel

Proovi nimetus:					Neste DK	HVO**	FAME**	Segu 30	Segu 40	Segu 45	Segu 50	GOST DK
Jrk. Nr.	Näitaja	Nõue*	Mõõtühik	Katsemeetod	Tulemus	Tulemus	Tulemus	Tulemus	Tulemus	Tulemus	Tulemus	Tulemus
1	Tihedus temperatuuril 15 °C	820...845	kg/m³	EN ISO 12185	838,8	780,8	884,7	827,7	820,1	819	815,9	828,8
2	Tsetaaniindeks	min 46,0		EN ISO 4264	51,3	90,84	54,7	58,4	61,9	63,5	65,8	53,01
3	Tsetaaniarv EL**			EN ISO	51,3	65,5	51,1					
4	Välimus	selge ja lä- bipaistev	visuaalne	ASTM D 4860	selge ja lä- bipaistev, hele kol- lane	selge ja lä- bipaistev, värvitu	selge ja lä- bipaistev, tugevalt kollane	selge ja läbi- paistev, kollane	selge ja läbi- paistev, kollane	selge ja läbi- paistev, kollane	selge ja läbi- bipaistev, kollane	selge ja läbi- paistev hele kollane
5	Fraktsioonkoostis											
	keemise algus				163	170	280	167	180	171	169	156
	10 mahu% aurustunud		°C		203	252	330	218	218	224	224	195
	20 mahu% aurustunud		°C		226	265	332	240	243	247	247	215
	30 mahu% aurustunud		°C		243	270	333	255	258	262	262	232
	40 mahu% aurustunud		°C		257	273	333	268	269	271	270	248
	50 mahu% aurustunud		°C		273	276	334	278	277	279	278,5	263
	60 mahu% aurustunud		°C		283	278	334	285	285	286	286	278
	70 mahu% aurustunud		°C		297	280	334	298	293	295	294	295
	80 mahu% aurustunud		°C		313	283	334	312	304,5	306	304	311
	90 mahu% aurustunud		°C		334	288	334	331	323	323	320	333
	95 mahu% aurustunud	max 360	°C		346	292	334	343	341	337	336	349

Lisa E järg

	Temperatuuril 180 0C destilleerunud osa	max 10	mahu%		4	3	0	2	0	1,5	2	3,5
	Temperatuuril 250 0C destilleerunud osa	ei normita	mahu%		36	10	0	27	25	22	22	41,5
	Temperatuuril 340 0C destilleerunud osa	min 95	mahu%		92		99	94,5	96	97,5	96	93
	Temperatuuril 350 0C destilleerunud osa		mahu%		97							97
	Keemise lõpptemperatuur		°C		350	305	334	346	343	339,5	342	355
	Destilleerus		mahu%		98,5	98,5	99	98,5	98,5	98,5	98,5	98,5
	Destillatsioonijääk	2	mahu%		1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	Kaod		mahu%		0	0	0	0	0	0	0	0
	Destilleerub 350 °C juures:	min 85	mahu%									97
	95 mahu % destilleerub temperatuuril	max 360	°C		346			343	337	337	336	349
6	Viskoossus temperatuuril 40 °C	2,00...4,50	mm ² /s	EN ISO 3104		3,039	4,573	2,99	3,011	2,936	2,979	2,369
7	Väävlisisaldus**	max 10	mg/kg	EN ISO 20846	6,7	0,5	7,3					5,1***
8	Leekpunkt	üle 55	°C	EN ISO 2719	71	63	182	72	68	67	68	62
9	Hägustumispunkt	ei normita	°C	ASTMD 2500	-6	-30	-5	-10	-12	-13	-15	-7
10	Külmafiltri ummistumispunkt **	max -5	°C	EN 116	-20	-40	-18					
11	Oksüdatsiooniline stabiilsus**		g/m3	EN ISO 12205	2	4	6	3	3	6	6	

Lisa E järg

12	Määrimisvõime, korri- geeritud kulumisjälje diameeter (WSD) tem- peratuuril 60 °C**	max 460	µm	EN ISO 12156-1	455	345	322	368	398	322	322	
13	Tahkete osiste sisal- dus*	max 24	mg/kg	EN 12662	<12(2)	<12(5,1)	17	<12(4,2)	<12(6,0)	17	17	
14	Vees lahustuvad hap- ped ja alused	ei normita		ASTM D 1030			puuduvad	puuduvad	puuduvad	puuduvad	puuduvad	puuduvad
15	Vaba vesi	puudub	massi%	ISO 3733:1999	puudub	puudub	puudub	puudub	puudub	puudub	puudub	puudub
16	Veesisaldus	max 200	mg/kg	EN ISO 12937	19	15	1337 (max 500)	127	126	126	125	28

*- Nõue esitatud Standardiga EVS-EN 590.2013+ A1 2017

** - Analüüsi tulemused EMÜ Tehnikainstituudi projektist 8L160001TIPT "Kütusesegude segamise ja kihistumise uuring ning mootorikatsed" (8.01.2016–31.12.2017)

*** LISA G Analiit Katseprotokoll

Lisa F GOST DK K5 ökoloogiline näitajad

GOST DK K5 ökoloogiline näitajad

ГОСТ 32511-2013

Данный ГОСТ был разработан для дизельного топлива ЕВРО, чтобы регламентировать требования к его характеристикам, технологии изготовления. Указана классификация в зависимости от уровня содержания серы:

К3 – до 350 мг/кг;

К4 – до 50 мг/кг;

К5 – до 10 мг/кг.

При этом минимальное цетановое число составляет 51, а индекс – 46. Плотность топлива ЕВРО может варьироваться в пределах 820-845 кг/м³. Допускается использование присадок для улучшения характеристик горючего, но они не должны наносить вред экологии, здоровью людей. Нельзя вводить в состав дизельного топлива данной категории металлосодержащие присадки (исключение сделано только для антистатических составов).

ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Поправкой)

Дата	введения	2015-01-01
------	----------	------------

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
ТОПЛИВО ДИЗЕЛЬНОЕ ЕВРО
Технические условия

Lisa F järg

Diesel fuel EURO. Specifications

Таблица 1 - Требования к топливу

Наименование показателя	Значение	Метод испытания
1 Цетановое число, не менее	51,0	По <u>ГОСТ 32508**</u> (на установке CFR), <u>ГОСТ 3122</u> , стандартам [1], [2]-[4]
2 Цетановый индекс, не менее	46,0	По стандартам [5], [6]
3 Плотность при 15 °С, кг/м	820,0-845,0	По стандартам [7], [8], [9]-[11], <i>ГОСТ 31392</i>
4 Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	8,0	По <u>ГОСТ EN 12916**</u> , стандарту [12]
5 Массовая доля серы, мг/кг, не более, для топлива: К3 К4	350,0	По стандарту [13], <u>ГОСТ 32139**</u> , <u>ГОСТ ISO 20846**</u> , <u>ГОСТ ISO 20884**</u> , стандартам [14]-[17], [18]-[20]
	50,0	По <u>ГОСТ ISO 20884**</u> , <u>ГОСТ ISO 20846**</u> , стандартам [14], [15], [17], [18]-[20]

Lisa F järg

K5	10,0	По <u>ГОСТ ISO 20884</u> **, <u>ГОСТ ISO 20846</u> **, стандартам [17], [19], [20]
6 Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, выше	55	По <u>ГОСТ ISO 2719</u> **, <u>ГОСТ 6356</u> **, стандартам [21], [22]
7 Коксуемость 10%-ного остатка разгонки , % масс., не более	0,3	По стандарту [23], <u>ГОСТ 32392</u> **, стандарту [24], <u>ГОСТ 19932</u>
8 Зольность, % масс., не более	0,01	По <u>ГОСТ 1461</u> , стандартам [25], [26]
9 Массовая доля воды, мг/кг, не более	200	По стандарту [27]
10 Общее загрязнение, мг/кг, не более	24	По стандарту [28]
11 Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С), единицы по шкале	Класс 1	По <u>ГОСТ ISO 2160</u> **, <u>ГОСТ 32329</u> **
12 Окислительная стабильность: общее количество осадка, г/м , не более часов , не менее	25 20	По стандартам [29], [30], [31] По стандарту [32]

Lisa F järg

13 Смазывающая способность: скорректированный диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60 °С, мкм, не более	460	По <u>ГОСТ ISO 12156-1</u> **, стандарту [33]
14 Кинематическая вязкость при 40 °С, мм /с	2,000-4,500	По <u>ГОСТ 33</u> , стандартам [34], [35], <i>ГОСТ 31391</i>
15 Фракционный состав: при температуре 250 °С перегоняется, % об., менее при температуре 350 °С перегоняется, % об., не менее 95% об. перегоняется при температуре, °С, не выше	 65 85 360	По <u>ГОСТ ISO 3405</u> **, <u>ГОСТ 2177</u> (<i>метод А</i>), стандарту [36]
16 Содержание метиловых эфиров жирных кислот , % об., не более	7,0	По стандарту [37]

Показатель 4 определяют по ГОСТ EN 12916**, как разность значений общего содержания ароматических углеводородов и моноароматических углеводородов.

Предельное значение для показателя 7 определяют до введения присадки, улучшающей воспламенение. Использование присадок не освобождает изготовителя от соблюдения требований к коксуемости 10%-ного остатка разгонки не более 0,30% масс. до введения присадок.

Данное требование распространяется на дизельное топливо, содержащее более 2% об. метиловых эфиров жирных кислот.

Показатель 16 определяют только при их введении в топливо.

Качество метиловых эфиров жирных кислот должно соответствовать требованиям стандарта [36].

Идентификацию и разделение метиловых эфиров жирных кислот проводят по стандарту [37].

Lisa G Analiit GOST katseprotokoll

ANALIIT OÜ

KEEMIA - ANALÜÜTILINE LABORATOORIUM

21692

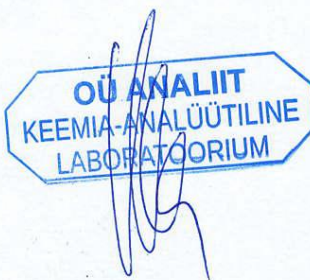
KATSEPROTOKOLL nr.: AN-L 240116

Tellija: Eesti Maatilikool		Proovi võtmise koht:	Proov on esitatud kliendi poolt	
Aadress: Fr. R. Kreutzwaldi 1, 51014, Tartu, Eesti		Proovi edastamise kuupäev:	24.01.2019	
		Proovi kirjeldus:	Klaas pudel 200 ml x 1	
		Proovi lab nr:	19240106	
		Proovi nimetus:	Diislikütus	
Jrk	Näitaja	Mõõtühik	Katsemeetod	Tulemus
1	Väävlisisaldus	mg/kg	EN ISO 20846	5,1

Kütuse nimetuse ja analüüside nimekirja on määranud klient. Analüüsides tulemused kehtivad ainult katsetustele esitatud proovi (de) kohta.

Deniss Viks

24.01.2019.a.



iis

Pähklimäe 8
74114 Maardu
Reg. nr. 10303836
E-post: mail@analiit.ee

EE782200221010347286
Swedbank
Akrediteerimistunnistus nr L039

KMKR nr. EE100449367
Telefon +372 6 006 110
Faks +372 6 006 111
www.analiit.ee



**Lisa H. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks
ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Viljar Soots,
sünniaeg 14.11.1979,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
BIOKÜTUSED EESTI VABARIIGI TURUL FOSSIILSETE KÜTUSTE SEGUDES

mille juhendaja on Kaie Ritslaid

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(allkiri)

Tartu, _____
(kuupäev)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)